

*Міністерство освіти і науки України  
АН Вищої освіти України  
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»  
Херсонська державна морська академія  
Національна металургійна академія України  
Київський національний університет технологій та дизайну  
Донбаська державна машинобудівна академія  
Одеський національний політехнічний університет  
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»  
Луцький національний технічний університет  
Сумський державний університет  
Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
Центральноукраїнський національний технічний університет  
Чернігівський національний технологічний університет  
Вінницький національний технічний університет  
Вінницький національний аграрний університет  
Донецький національний технічний університет  
Союз машиностроителів Болгарії  
Державне підприємство науково-дослідний інститут  
нафтопереробної та нафтохімічної промисловості «МАСМА»  
Державний концерн «Укроборонпром»  
Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України  
ДП «Херсонстандартметрологія»  
Херсонська торгово-промислова палата*

### **Матеріали**

**III-ої Міжнародної науково-практичної конференції  
"Сучасні технології промислового комплексу-2017"  
Вересень 12, 2017 – Вересень 17, 2017**

### **Materials**

**III International scientific-practical conference  
"Current technologies of industrial complex – 2017"  
September 12, 2017 – September 17, 2017**



**Херсон – 2017 р.**

Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні технології промислового комплексу", випуск 3. – Херсон: ХНТУ, 2017. – 269 с.

В матеріалах конференції викладені нові теоретичні і прикладні результати щодо застосування сучасних інноваційних технологій у промисловому комплексі регіонів та машинобудуванні України. Розглянуті проблеми в галузях: технології машинобудування, обробки матеріалів тиском, технології нанесення та обробки покриттів, виробництві нових матеріалів, зміцнення та відновлення деталей машин, системного аналізу та математичного моделювання складних об'єктів, проблем надійності та енергозбереження, захисту довкілля, екологічної безпеки, ресурсозберігаючих технологій.

Викладені практичні рекомендації по використанню результатів досліджень і дослідно-конструкторських розробок в машинобудуванні. Даний збірник є виданням, в якому публікуються основні результати наукових досліджень провідних вчених України, викладачів, аспірантів та студентів ВНЗ.

Збірник розрахований на наукових і інженерно-технічних робітників ВНЗ, конструкторських організацій і промислових підприємств.

Відповідальний за випуск: Розов Ю.Г., д.т.н., професор.  
Комп'ютерне макетування: Дмитрієв Д.О., Ткач В.О.

Адрес редакційної колегії: 73008, м. Херсон, Бериславське шосе, 24, Херсонський національний технічний університет, корп. № 3, ауд. № 223.

**ISBN 978-966-2207-54-5**

Автори опублікованих матеріалів несуть відповідальність за підбір і точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, імен та інших відомостей, а також за те, що матеріали не містять даних, які не підлягають відкритій публікації.

© Херсонський національний технічний університет, 2017

Кобилянський Є.В., Ярошенко О.П., Телемко О.В. НАДЛУЖНІ МАСТИЛА	150
Кореньков В.М, Фіранський В.Б., Мельник О.О., Лут І. ОПТИМІЗАЦІЯ ВНУТРІШНЬОЇ СТРУКТУРИ ДЕТАЛЕЙ, ВИГОТОВЛЕНИХ АДИТИВНИМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ	152
Лебедь В.Т., Калиниченко В.А., Максимов М.А. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСА СБОРКИ КРУПНОГАБАРИТНИХ ИЗДЕЛИЙ	155
Лебідь В.Т., Донченко Є.І., Ананьєв М.С. СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ВЕДЕННЯ ПРОЦЕСУ ДЕМОНТАЖУ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ СКЛАДЕНИХ ВИРОБІВ	159
Ларшин В.П., Лищенко Н. В. ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИПУСКА НА ЗУБОШЛИФОВАНИЕ	161
Марченко А.П., Ковалев В.Д., Клочко А.А., Васильченко Я.В., Кравченко Д.А., Терещенко Т.В. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯЖЕЛЫХ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С ДЕМПИРУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ	166
Мироненко Е.В., Миранцов С.Л., Аносов В.Л. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ МЕХАНООБРАБОТКИ НА ТЯЖЕЛЫХ СТАНКАХ ФРЕЗЕРНО-РАСТОЧНОЙ ГРУППЫ	169
Мельянцов П.Т., Назарець В.С, Лосіков О.М. РЕМОНТНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ПІСЛЯРЕМОНТНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ НАСОСІВ ПІДЖИВЛЕННЯ АКСІАЛЬНО-ПОРШНЕВИХ ГІДРОНАСОСІВ	170
Міщук О.О. ТОНКОПЛІВКОВІ АСПЕКТИ СТРУКТУРНОЇ РЕЛАКСАЦІЇ ТЕРТЬОВОЇ КОНТАКТНОЇ ЗОНИ: ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДАМИ ЕЛЕКТРОННОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ	176
Міщук О.О., Ярмолук Б. М., Велігорська Ю. В., Коваль Л. І., Дзюба В. І. РОЛЬОВА ВІДМІННІСТЬ МАГНІЮ ТА КАЛЬЦІЮ ЗА УМОВ МЕХАНОХІМІЧНОЇ РЕЛАКСАЦІЇ СТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ У ЗОНІ ТЕРТЯ	181
Назарець В.С., Мельянцов П.Т., Лосіков О.М. ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ПРИ ЕЛЕКТРОІСКРОВОМУ ЛЕГУВАННЮ СПЛАВІВ МЕТАЛІВ	183
Настасенко В.А. ГИДРОВОЛНОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА – ОСНОВА ЭНЕРГЕТИКИ БУДУЩЕГО	184

УДК 621.833

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИПУСКА НА ЗУБОШЛИФОВАНИЕ**

Ларшин В.П., Лищенко Н. В.

Одесский национальный политехнический университет  
Одесская национальная академия пищевых технологий

Для определения припуска на зубошлифование можно воспользоваться теоретико-вероятностным подходом, однако для этого необходимо иметь возможность разделить сигнал припуска на детерминированную и случайную компоненту [1]. Или доказать наличие случайной компоненты при известной детерминированной компоненте, например в условиях дискретного выборочного измерения припуска на отдельных равноотстоящих впадинах зубчатого колеса. Теория определения припуска на механическую обработку является одним из основных разделов технологии машиностроения [2] и связана с общей проблемой моделирования технологических процессов [3]. Эту проблему пытаются решить на основе теоретико-вероятностного подхода [4], который в отличие от классического подхода не связан с обязательным учётом ограниченного числа факторов (высота микронеровностей, дефектный слой, пространственные отклонения, погрешность установки).

Экспериментальные статистические исследования, связанные с определением погрешностей изготовления цементованных зубчатых колёс отличаются высокой трудоёмкостью и требуют прецизионных измерительных приборов специального назначения, или занимают дорогостоящее время современных координатно-измерительных машин. Задача моделирования указанных погрешностей после химико-термической обработки зубчатых колёс особенно актуальна в связи с неудовлетворительным качеством контролируемых поверхностей зубчатых колёс, в результате которого щуп координатно-измерительной машины часто работает не в штатной ситуации с частыми аварийными остановами. Кроме того, нарушение принципа единства баз при измерении и обработке приводит к дополнительной погрешности базирования и искажению результатов контроля. При использовании теоретико-вероятностного подхода к исследованию припуска на зубошлифование возникает задача оценивания характеристик случайного процесса при анализе детерминированной и случайной компонент припуска на зубошлифование. Проверка нормальности закона распределения случайной величины по выборке измерений припуска является необходимым, но не достаточным условием. Поэтому существует проблема замены трудоёмкого статистического исследования погрешностей реальных зубчатых колёс статистическим моделированием этих погрешностей. Эта проблема в полной мере относится к статистическому исследованию припуска на зубошлифование, который обусловлен совокупностью погрешностей предыдущих операций и погрешностью установки на зубошлифовальном станке.

Задача заключается в разработке, обосновании и исследовании статистической модели припуска, содержащей детерминированную и случайную компоненту на основании использования известного свойства эргодичности случайных процессов.

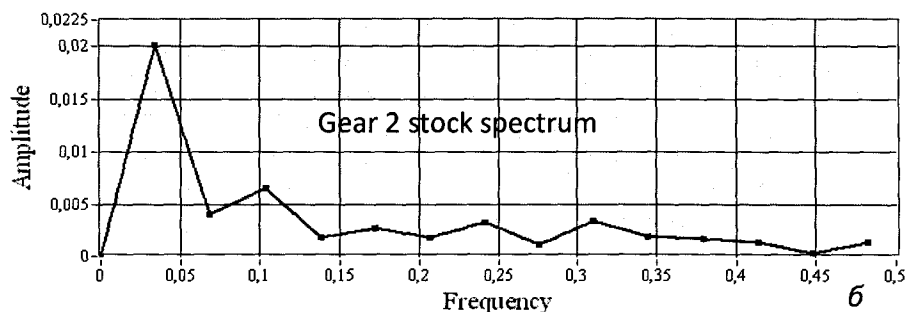
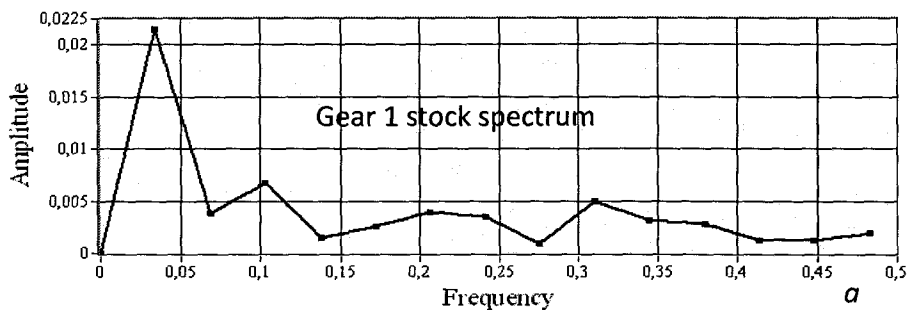
Свойство эргодичности состоит в том, что среднее по множеству реализаций с вероятностью единица совпадает со средним по времени одной реализации процесса [5]. Это позволяет при ограниченной длине одной реализации (для зубчатого колеса длина одной реализации равна центральному углу  $2\pi$ ) заменять её среднее по времени средним по множеству реализаций. В теории случайных процессов множество реализаций называют ансамблем реализаций, который и задаёт случайный процесс. Другими словами, при недостаточной длине реализации случайного процесса (для зубчатого колеса длина

пространственного интервала изменения припуска  $2\pi$ ) его можно задавать математической моделью – ансамблем реализаций, а среднее по времени заменять средним по множеству. Это вызвано тем, что для стационарных эргодических процессов статистические характеристики, полученные усреднением по множеству реализаций и по времени для одной реализации случайного процесса равны друг другу [6]. Подтверждением этого свойства является известная теорема Парсеваля или Рэйли (в зарубежной литературе Parseval's theorem, Rayleigh's energy theorem).

Амплитудный спектр случайного процесса за счёт случайных фазовых соотношений частотных компонент имеет тенденцию к исчезновению, что при достаточной длине реализации случайного процесса вызвано компенсирующим взаимодействием гармоник со случайными фазами. Поэтому для характеристики интенсивности случайных процессов применяют не амплитудный спектр, а энергетический спектр (power spectrum), так как он не зависит от фаз гармоник [7]. На указанном свойстве исчезновения амплитудного спектра случайного процесса основано дальнейшее исследование.

Экспериментальное исследование припуска на заводских зубчатых колесах (ЗК №1, ЗК № 2 и ЗК № 3) позволили получить соответствующие пространственные (аналог термина «временные») сигналы припуска и их спектрограммы для 3-х левосторонних припусков для указанных зубчатых колес (рис.1, а, б, с) и спектрограмму от среднего по времени (рис.1, г). Последнюю спектрограмму получили в виде преобразования Фурье от среднего по времени из дискретных сигналов  $f_1(n) = z_{rated}^{L1}(n)$ ,  $f_2(n) = z_{rated}^{L2}(n)$  и  $f_3(n) = z_{rated}^{L3}(n)$ , т.е. от сигнала следующего типа (рис.1, г)

$$f_{ave}(n) = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 z_{rated}^{Li}(n) . \quad (1)$$



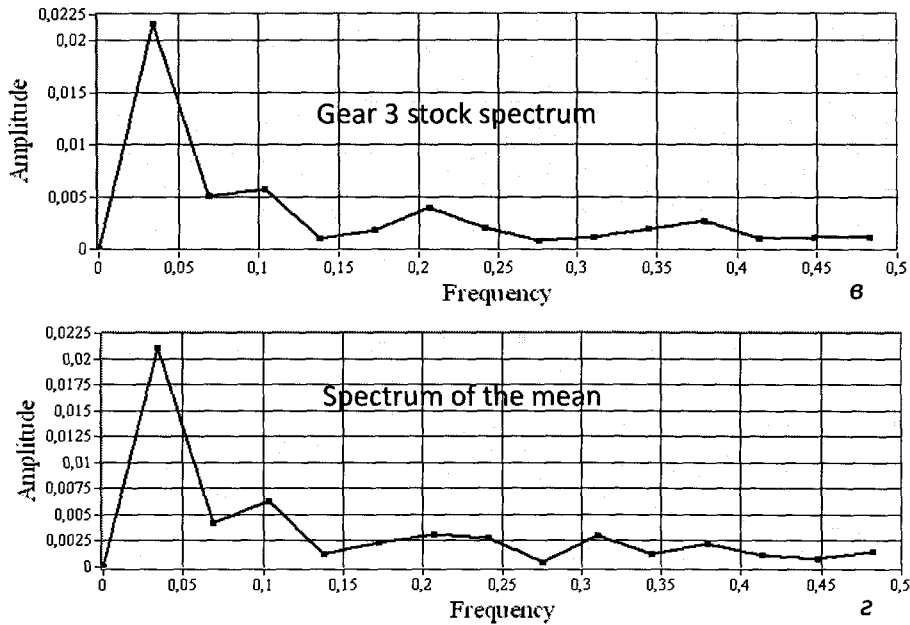


Рисунок 1. Амплитудные спектры нормированных сигналов левостороннего припуска: а, б, в – зубчатые колеса № 1, № 2, № 3, соответственно; г – для усредненного временного сигнала припуска

Преобразование Фурье, т.е. спектр среднего значения сигнала припуска (Spectrum of the mean на рис.1,г) , можно представить в виде

$$F\{f_{ave}(n)\} = F\left\{\frac{1}{3}\sum_{i=1}^3 z_{rated}^{Li}(n)\right\} \quad (2)$$

Для реализации преобразований (1) и (2) сконструирован виртуальный прибор в среде LabVIEW 8.6 (рис.2).

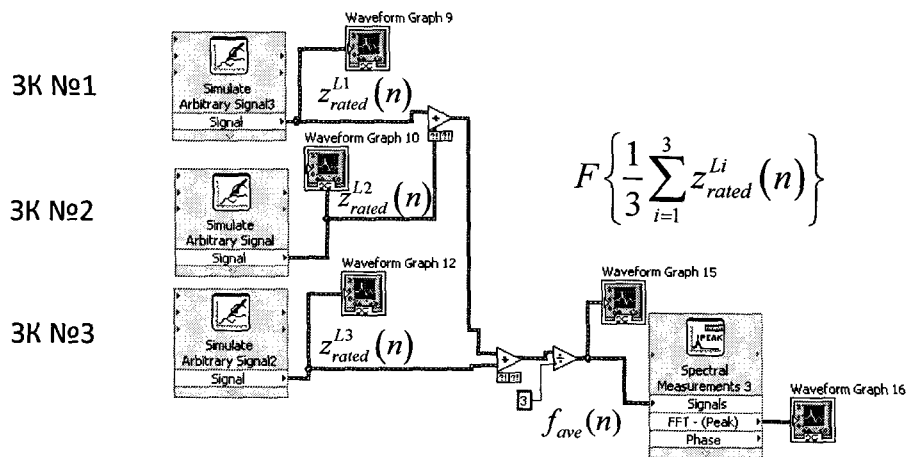


Рисунок 2. Виртуальный прибор для усреднения 3-х сигналов припуска и формирования спектра среднего

Для каждой спектрограммы сформированы оценочные показатели:

$$\eta = \frac{A_1}{A_{ave}}, \quad (3)$$

где  $A_1$  – амплитуда первой гармоники с периодом  $2\pi$ ;

$A_{ave}$  – средняя амплитуда гармоник, за исключением первой.

Причем

$$A_{ave} = \sum_{i=2}^{z/2} A_i, \quad (4)$$

где  $z$  – число впадин зубчатого колеса.

Величина верхнего предела суммирования  $z/2$  обусловлена тем, что в соответствии с теоремой отсчетов В. А. Котельникова (Nyquist–Shannon sampling theorem) число дискретных точек в частотной области в 2 раза меньше числа дискретных точек во временной области. Получены следующие значения оценочных показателей для левой  $\eta^L$  и правой  $\eta^R$  сторон впадин (аналог известного отношения сигнал-шум или signal-to-noise ratio).

ЗК	1	2	3	ave
$\eta^L$	7,82	8,98	10	9,61
$\eta^R$	8,78	6,28	7,84	8,48

Ранее была выполнена оценка спектров припуска реальных зубчатых колес типа В1318В.41.004 (заводской код). Найдены реальные значения показателей для левой  $\eta^L$  и правой  $\eta^R$  стороны впадин. Разработан виртуальный прибор для выполнения быстрого преобразования Фурье (БПФ) сигнала припуска в среде LabVIEW 8.6. Разработана имитационная модель припуска, содержащая систематическую и случайную компоненту. В этой модели каждое зубчатое колесо с числом зубьев (или впадин)  $z$  рассматривается как реализация стохастического процесса, содержащая систематическую и случайную компоненты (одна из возможного ансамбля реализаций). Систематическая компонента сигнала припуска реализована гармонической синусоидальной функцией  $y = \sin x$  (частота  $f = 10$  Гц) с наложением на нее шумовой компоненты. Шумовая компонента представляет собой белый гауссовый шум, имеющий стандартное отклонение  $\sigma_{noise}$ . Эта имитационная модель позволяет создавать виртуальные зубчатые колеса (отдельные реализации сигнала припуска) с различной долей случайной компоненты в стохастическом двухкомпонентном сигнале. Эта доля регулируется с помощью стандартного отклонения  $\sigma_{noise}$ . Изменяя уровень  $\sigma_{noise}$  в указанном ниже диапазоне, получены оценочные параметры  $\eta_m$  при  $m = 1, 2$  и  $3$ .

$m$	1	2	3
$\sigma_{noise}$	0,1	0,5	1
$\eta_m$	16,99	7,45	4,098

Выбираем  $\sigma_{noise} = 0,5$ . Параметр  $\eta_m$  при  $\sigma_{noise} = 0,5$  может при разных реализациях случайного процесса принимать значения 7,45...8,67, что соответствует реально измеренным 3-м зубчатым колесам.

Имитационная модель создана с использованием виртуального прибора в программе LabVIEW 8.6. Количество точек в реализации имитационной модели припуска соответствует числу зубьев реального зубчатого колеса, т.е.  $z = 29$ . Для сравнительной оценки принимаем амплитуду синусоидальной периодической компоненты  $y = \sin x$  (частота  $f = 10$  Гц) для реализаций одинаковую, например, единичную. В соответствии с

выбраним рівнем  $\sigma_{noise} = 0,5$  отримані, наприклад, 3 реалізації адитивної імітаційної моделі зубчатого колеса (рис.3),

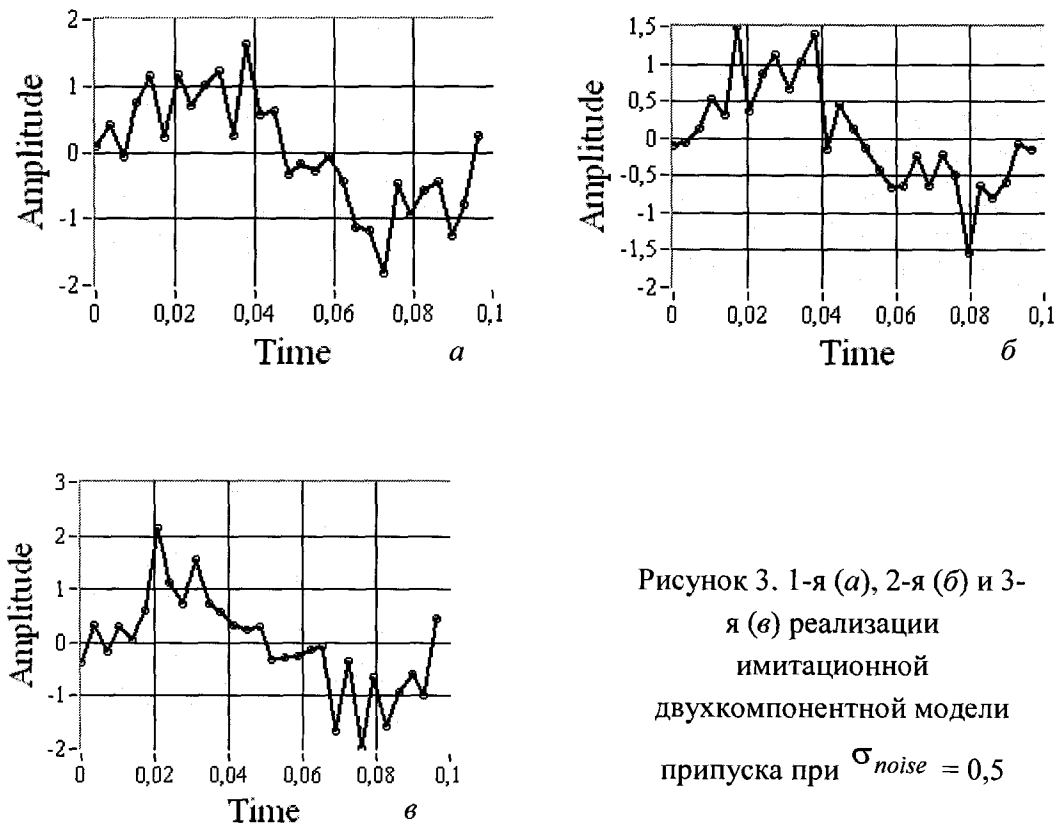


Рисунок 3. 1-я (а), 2-я (б) и 3-я (в) реалізації імітаційної двохкомпонентної моделі припуску при  $\sigma_{noise} = 0,5$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лищенко Н.В. Разделение профиля поверхности на систематическую и случайную составляющие / Н.В. Лищенко, В.П. Ларшин // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. . – Харьков: НТУ «ХПИ», 2016. – С. 62-73.
2. Лищенко Н.В. Анализ способов определения припуска на механическую обработку / Н.В. Лищенко, В.П. Ларшин, С.Н. Макаров // Праці Одеського політехнічного університету: Науковий та науково-виробничий збірник. – Одеса, 2011. – Вип. 1(35). – С.36-42.
3. Гришкевич А.В. Проектирование операций механической обработки / А.В. Гришкевич, И.Л. Цымбал. – Х: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1985. – 144 с.
4. Васин А.Н. Теоретико-вероятностные основы формирования припуска на механическую обработку / А.Н. Васин. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2006. – 128.
5. Харкевич А.А. Борьба с помехами / А.А. Харкевич, изд. второе испр. – М.: Наука, 1965. – 275 с.
6. Цыпкин Я.З. Основы теории автоматических систем / Я.З. Цыпкин. – М.: Наука, 1977. – 560 с.
7. Гутников В.С. Фильтрация измерительных сигналов / В.С. Гутников. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 192 с.