

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Комитет по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга  
Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого  
Ассоциация технологов-машиностроителей России  
Санкт-Петербургское отделение Российской академии наук  
Международный союз машиностроителей  
Санкт-Петербургская торгово-промышленная палата

---



**ПОЛИТЕХ**

Санкт-Петербургский  
политехнический университет  
Петра Великого

**СОВРЕМЕННЫЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ В  
МАШИНОСТРОЕНИИ  
(MTET-2016)**

**Труды**

**Международной научно-технической конференции**

**6-8 октября 2016 г.**

**MODERN HIGH-PERFORMANCE EQUIPMENT AND  
TECHNOLOGIES IN MECHANICAL ENGINEERING  
(MTET- 2016)**

**Proceedings**

**International Scientific and Technical Conference**

**October 6-8, 2016**

**Санкт-Петербург**

**2016**

**Современные высокоэффективные технологии и оборудование в машиностроении (МТЕТ-2016) Modern high-performance equipment and technologies in mechanical engineering (MTEET-2016):** Труды международной научно-технической конференции. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та. 2016 – 274 с.

*Конференция посвящается 300-летию создания А.К. Нартовым первого в мире токарного станка*

В трудах представлены доклады, отражающие современное состояние исследований и производственных достижений в области технологии машиностроения. Участники конференции представляют российские и зарубежные организации.

Тематические направления конференции:

Современные высокоэффективные процессы и технологии лезвийной и абразивной обработки заготовок, оборудование и инструмент;

Инженерия высококачественных поверхностей и кромок, модификация поверхностных слоев деталей, покрытия;

Обработка композиционных материалов.

Доклады публикуются в авторской редакции. Оргкомитет не несет ответственности за стиль и форму изложения представленного материала.

Ответственный за выпуск – сопредседатель оргкомитета конференции д.т.н., проф. Ю.М. Зубарев

Редактор – ученый секретарь конференции, доцент А.И. Круглов

Печатается по решению редакционно-издательского совета Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

© Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЧИСЛА ИЗМЕРЕНИЙ ПРИПУСКА НА ЗАГОТОВКЕ ПЕРЕД ЗУБОШЛИФОВАНИЕМ

**V.P. Larshin**, Doctor of Science (Engineering), Odessa national polytechnic university, Ukraine, Odessa, [VPLarshin@rambler.ru](mailto:VPLarshin@rambler.ru)

**N.V. Lishchenko**, PHD, Odessa national academy of food technologies, Ukraine, Odessa, [odmnv@rambler.ru](mailto:odmnv@rambler.ru)

On the basis of preliminary experimental data obtained by measuring the allowance for gear grinding by copying method on the HOFLEER RAPID 1250 machine it is analyzed the influence of the allowance measurement along the workpiece periphery on the operation piece-time. With the reduction of the number of measurements the measurement time reduces but grinding time increases, since allowance uncertainty increases and leads to moving the grinding wheel aside the workpiece in order to avoid the burn marks appearance.

**Keywords:** optimization, gear grinding, profile grinding wheel, allowance measurement, Fourier frequency transform, sampling theorem, allowance signal piecing out, operation piece-time.

Зубошлифование профильным кругом по методу копирования широко используется в промышленности при изготовлении зубчатых колес (ЗК) для авиационного и транспортного машиностроения [1].

Операцию профильного зубошлифования на станке с ЧПУ можно разделить на два вида работ [2]: измерение припуска на этапе наладки станка и зубошлифование на этапе обработки. Измерение выполняют профильным шлифовальным кругом или специальным измерительным щупом, например, при помощи измерительной системы компании Renishaw. В первом случае (шлифовальным кругом) измерения производят на заготовках ЗК с неудовлетворительным качеством поверхности, например, после цементации и закалки ЗК. Используется сигнал акустической эмиссии, возникающий в момент касания боковых сторон профиля круга и впадины ЗК. Интенсивность этого сигнала при попеременном касании правой и левой

стороны профиля впадины ЗК должна быть одинаковой. Во втором случае (измерительным щупом) измерения производят по относительно чистой поверхности перед зубошлифованием (рис.1), а также после его окончания (контроль после обработки). В основе метода измерения лежит способ центрирования измерительного инструмента относительно исследуемой впадины [3].

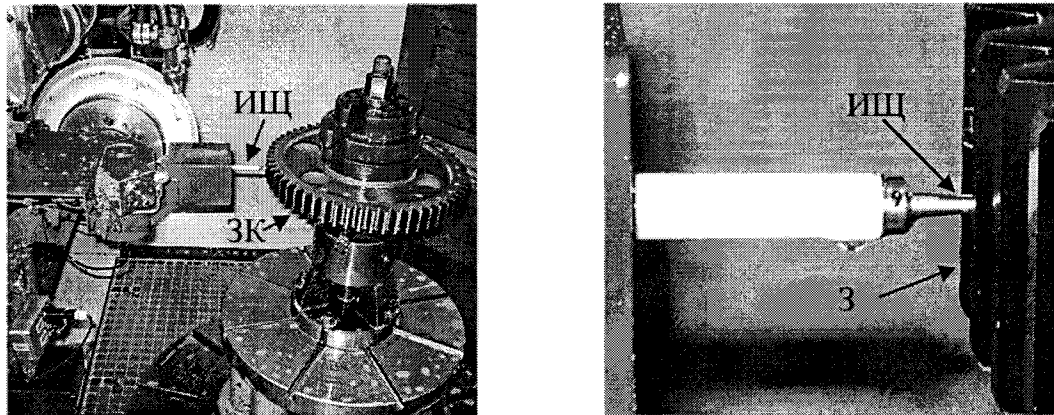


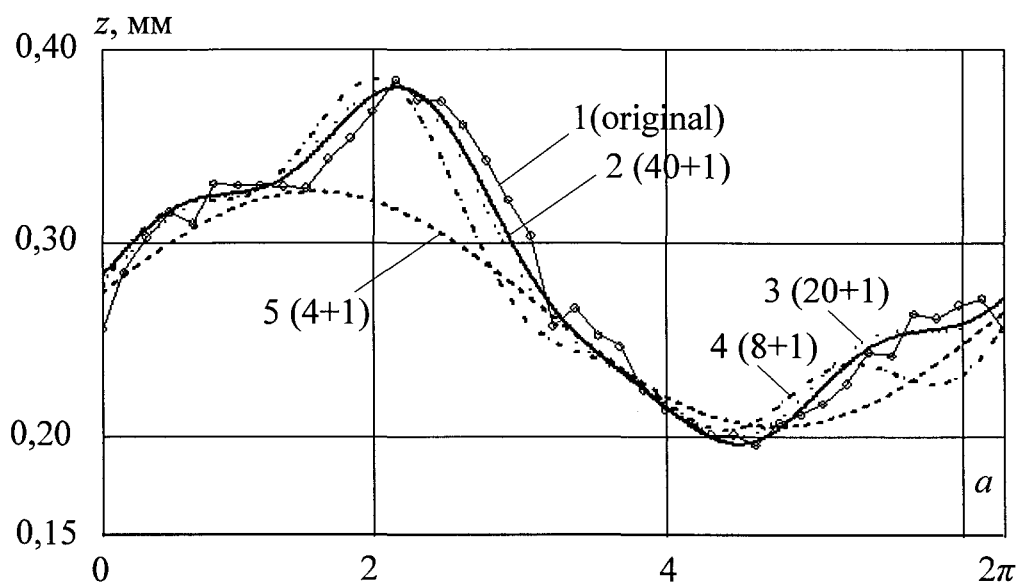
Рис.1 – Общий вид (слева) и зона измерения (справа) припуска измерительным щупом компании Renishaw на станке HOFLER RAPID 1250: ИЩ – измерительный щуп; ЗК – зубчатое колесо (52 зуба)

Однако в литературе нет сведений об особенностях автоматического цикла измерения и обработки ЗК на станках указанного типа, нет объективного анализа различных способов обмера впадин ЗК перед зубошлифованием. Нет данных об оптимальном числе измерений припуска по впадинам ЗК, расположенным при различном угловом положении по измерительной окружности ЗК. Дело в том, что с увеличением числа измерений имеют место две тенденции: время измерений возрастает, а время обработки уменьшается. Последнее вызвано тем, что за счёт уменьшения неопределённости припуска (с ростом числа впадин, в которых измеряют припуск) уменьшают добавку (запас) припуска на компенсацию его неопределённости. Это создаёт предпосылки для уменьшения общего времени на измерение и обработку за счёт оптимизации числа измерений.

Отсутствие данных о связи числа измеренных впадин с точностью оценки распределения припуска по измерительной окружности ЗК не позволяет выполнить оптимизацию цикла зубошлифования, включающего время на наладку и обработку.

При разработке способа восстановления сигнала (информации) о припуске на пропущенных впадинах могут быть использованы различные методы идентификации модели восстанавливаемого сигнала о величине припуска. Например, оценку параметров модели производят методом наименьших квадратов, если заранее известно, что в процессе присутствует гармоническая компонента, период которой задан [4]. Однако, как показано ниже в основе восстанавливаемой функции (function being pieced out) содержится не одна синусоидальная компонента, а некий набор таких компонент с разными периодами изменения, кратными периоду основной гармоники.

Выполнены исследования по восстановлению фактического распределения припуска по левой (рис.2,а) и правой (рис.2,б) сторонам впадин ЗК. впадин ЗК.



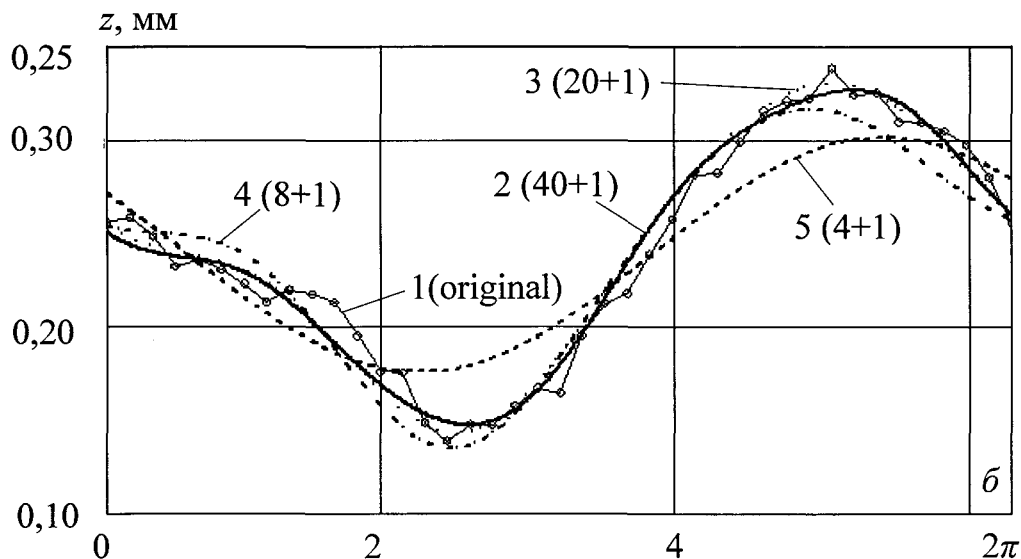


Рис. 2 – Восстановление непрерывной огибающей линии дискретного распределения припуска  $z$  по правой (а) и левой (б) стороне впадин заготовки ЗК с числом впадин 40 («+1» означает дополнение до периода  $2\pi$ )

На примере ЗК с 40 впадинами (линия 1 на рис.2) выполнено восстановление непрерывной огибающей линии (сигнала) припуска при различном числе  $N$  дискретных измерений припуска:  $N = 40$  (линия 2),  $N = 20$  (линия 3),  $N = 8$  (линия 4) и  $N = 4$  (линия 5). Восстановление (piecing out) выполнено на основании частотного преобразования Фурье по дискретным отсчётам (samples) с равным угловым шагом. Число отсчётов (40, 20, 8 и 4) соответствует фактическому числу измерений припуска с постоянным угловым шагом между отсчётами ( $9^\circ$ ,  $18^\circ$ ,  $45^\circ$  и  $90^\circ$ ). В соответствии с известной теоремой отсчётов В. А. Котельникова (Nyquist–Shannon sampling theorem) потенциально выявляемые частоты гармоник для указанного числа отсчётов составляют  $20f$ ,  $10f$ ,  $4f$  и  $2f$ , где  $f$  – частота основной гармоники с периодом  $2\pi$ .

Особенностью частотного анализа дискретных сигналов, характеризующих ограниченный ( $2\pi$ ) участок исходного сигнала (аналог временного процесса на ограниченном участке времени), является необходимость многократного повторения дискретного исходного сигнала

протяженностью  $2\pi$ , т.к. периодические составляющие дискретного сигнала теоретически могут быть выявлены только для исходного «бесконечного» во времени периодического сигнала. Причём, с уменьшением числа отсчётов на периоде  $2\pi$  число необходимых повторов сигнала на периоде  $2\pi$  (40 отсчётов, 20 отсчётов, 8 отсчётов и 4 отсчёта) возрастает. Путём моделирования в программе LabVIEW 8.6 установлено число необходимых повторов указанных периодов дискретных последовательностей: 3, 5, 10 и 20 повторов. При уменьшении числа повторов, по сравнению с указанными числами, идентификация амплитуд и фаз составляющих гармоник затрудняется.

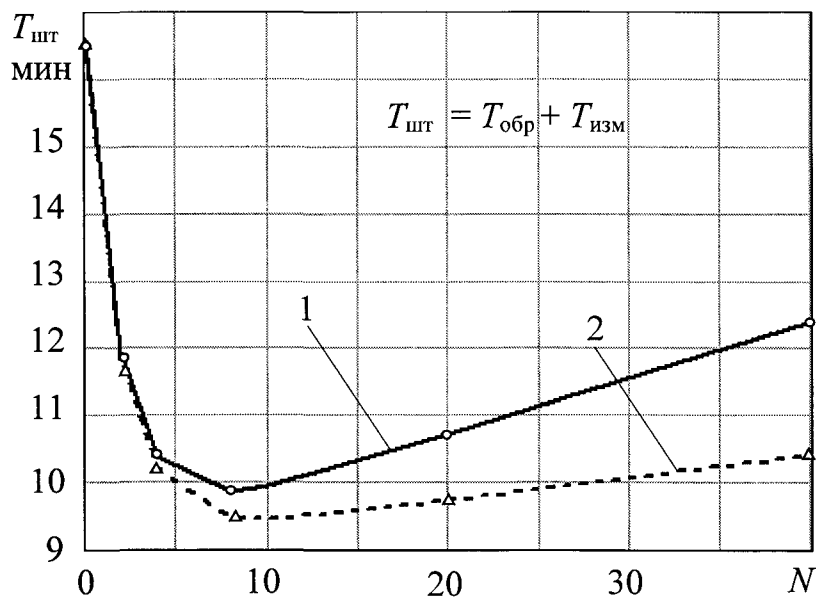


Рис.3 – Изменение штучного времени зубошлифования в зависимости от числа измерений припуска во впадинах ЗК: 1 и 2 – время измерения припуска в одной впадине 5 секунд и 2 секунды, соответственно

Описанный способ восстановления сигнала, характеризующего величину припуска во впадинах, которые были пропущены при измерениях, позволяет существенно уменьшить число необходимых измерений для выявления припуска во всех впадинах ЗК (по правой и левой стороне каждой впадины). Показано, что общее время операции зубошлифования, состоящее из времени наладки (время на измерение припуска  $T_{изм}$ ) и времени обработки

(время зубошлифования  $T_{обр}$ ) имеет минимальное значение при оптимальном числе измерений припуска (рис.3).

#### Список литературы

1. Лищенко Н.В. Настройка станков при зубошлифовании по методу копирования / Н.В. Лищенко, А.Н. Ковальчук, В.П. Ларшин // Физические и компьютерные технологии. Труды 21-й Междунар. науч.- практ. конференции. – Д.: ЛИРА, 2015. – С.39-45.

2. Лищенко Н.В. Анализ распределения припуска по профилю впадины при зубошлифовании / Н.В. Лищенко, В.В. Нежебовский, В.П. Ларшин // Физические и компьютерные технологии. Труды 21-й Междунар. науч.- практ. конф. – Д.: ЛИРА, 2015. – С.45-48.

3. А.с. 812546 СССР, МКИЗ В 24 В 49/10. Способ настройки резьбошлифовального станка / Ю.П. Русавский, А.В. Якимов, В.П. Ларшин и др. (СССР). – 2784708/25-08; заявл. 25.06.79; опубл. 15.03.81, Бюл. № 10.

4. Хусу А.П. Шероховатость поверхностей (теоретико-вероятностный подход), под ред. А.А. Первозванского / А.П. Хусу, Ю.Р. Витенберг, В.А. Пальмов. – М.: Наука, 1975. – 344 с.

**Аннотация.** На основе предварительно полученных экспериментальных данных по измерению припуска за зубошлифование методом копирования на станке HOFLEER RAPID 1250 выполнен анализ влияния числа измерений припуска по периферии заготовки зубчатого колеса на штучное время операции. С уменьшением числа измерений уменьшается время на измерение, но увеличивается время на обработку, так как с увеличением неопределённости припуска выполняют отвод круга от заготовки во избежание появления шлифовочных прижогов.

**Ключевые слова:** оптимизация, зубошлифование, профильный шлифовальный круг, измерение припуска, частотное преобразование Фурье, теорема отсчётов, восстановление сигнала о припуске, штучное время операции.

## СОДЕРЖАНИЕ

| <i>Раздел 1. Лезвийные и абразивные методы обработки заготовок</i>   | Стр. |
|--|------|
| <i>Юрьев В. Г., Зубарев Ю. М. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ЛЕНТОЧНОГО ШЛИФОВАНИЯ И ИХ ОСОБЕННОСТИ.....</i>  | 5    |
| <i>Жуков Е.И., Хрусталева И.Н. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....</i>  | 15   |
| <i>Петухов Г.Д., Макаров В.Ф. РАСЧЕТ РАВНОДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИЛ РЕЗАНИЯ НА ЗАМОК ЛОПАТКИ КОМПРЕССОРА ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ПРОТЯГИВАНИИ.....</i>  | 20   |
| <i>Носенко В. А., Тышкевич В. Н., Саразов А.В., Орлов С. В. МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПОДШИПНИКОВЫХ КОЛЕЦ ПРИ ЗАКРЕПЛЕНИИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ.....</i>   | 26   |
| <i>Мелентьев Р.Ю. MULTI-GRAINED ABRASIVE DRILL BIT.....</i>  | 31   |
| <i>Мелентьев Р.Ю. SELF-SHARPENED PROFILE OF THE CORE DRILL.....</i>  | 37   |
| <i>Маслов А.Р. ВЛИЯНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ АЛМАЗОПОДОБНЫХ (DLC) ПОКРЫТИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ БЕЗ СОЖ АВИАЦИОННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ.....</i>  | 43   |
| <i>Макаров В.Ф., Угринов В.Ю., Горбунов А.С., Ворожцова Н.А. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РОТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКИ ТРУБ АВИАЦИОННЫХ ХВОСТОВЫХ ТРАНСМИСССИЙ ВЕРТОЛЕТОВ.....</i>  | 49   |
| <i>Макаров В.Ф., Никитин С.П., Норин А. О., Туранский Р.А. РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОРРЕКТИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ГЛУБИННОГО ШЛИФОВАНИЯ БАЗОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СОПЛОВЫХ ЛОПАТОК НА МНОГООСЕВОМ СТАНКЕ С ЧПУ.....</i> | 54   |
| <i>Макаров В.Ф., Григорьева А.В. ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ОБРАБОТКИ ОХЛАЖДАЮЩИХ ОТВЕРСТИЙ В ЛОПАТКАХ ТУРБИН С ТЕПЛОЗАЩИТНЫМ КЕРАМИЧЕСКИМ ПОКРЫТИЕМ НА СТАНКЕ С ЧПУ.....</i>             | 61   |
| <i>Ларшин В.П., Лищенко Н.В. ОПТИМИЗАЦИЯ ЧИСЛА ИЗМЕРЕНИЙ ПРИПУСКА НА ЗАГОТОВКЕ ПЕРЕД ЗУБОШЛИФОВАНИЕМ.....</i>  | 83   |
| <i>Кожевников С.И., Макаров В.Ф. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРАТЕГИЙ ФРЕЗЕРОВАНИЯ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ПРЕСС-ФОРМ.....</i>  | 89   |
| <i>Зубарев Ю.М., Алейникова М.А. АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ШПИНДЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ.....</i>   | 93   |
| <i>Зубарев Ю.М., Круглов А.И. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ ПРОЦЕССОВ ИОННО-ВАКУУМНОЙ МОДИФИКАЦИИ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ КЕРАМИЧЕСКИХ ТВЁРДЫХ СПЛАВОВ.....</i>   | 103  |