

УДК 681.518.5:621.9.02

**В.А. ЗАЛОГА**, д-р техн. наук,  
**Р.Н. ЗИНЧЕНКО**, канд. техн. наук,  
**А.В. ГОНЩИК**, Сумы, Украина

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИБРАЦИЙ В СИСТЕМЕ РЕЗАНИЯ ДЛЯ КОСВЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА В ПРОЦЕССЕ ТОЧЕНИЯ ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛИ**

У статті представлені результати експериментального дослідження залежності потужності вібраційного сигналу від режимів різання (глибини, подачі та швидкості) та величини зношення різця по задній поверхні в процесі поздовжнього точіння загартованої сталі. Доведено, що потужність вібраційного сигналу в процесі обробки може бути використана для діагностування стану різального інструменту.

В статье представлены результаты экспериментального исследования зависимости мощности вибрационного сигнала от режимов резания (глубины, подачи и скорости) и величины износа резца по задней поверхности в процессе продольного точения закаленной стали. Доказано, что мощность вибрационного сигнала в процессе обработки может быть использована для диагностики состояния режущего инструмента.

The article presents the results of experimental investigation of dependence between vibration signal power and cutting conditions (depth, feed and speed) as well as flank wear rate of cutting tool during axial turning of hardened steel. It has been proved that vibration signal power during machining may be used for diagnosis of cutting tool condition.

**Актуальность.** В процессе механической обработки необходимость осуществления замены режущего инструмента принимается исходя из решения оператора станка либо же на основании прогнозируемого ресурса стойкости инструмента. Решение оператора зачастую основано на визуальном осмотре инструмента и качества обработанной поверхности заготовки, однако это требует наличия определенного мастерства. Решение, основанное на прогнозируемом ресурсе стойкости, предлагает

идею средней стойкости для определенного класса инструментов, рассчитанное по предыдущим данным. Для конкретного режима обработки производитель дает рекомендуемый срок службы инструмента для конкретной пластинки. Практика замены инструмента на основании фиксированного срока службы может быть не достаточно экономичной, поскольку инструмент может быть заменен преждевременно или даже после его поломки. Следовательно, кроме излишних потерь некоторых инструментов, частые смены инструмента приводят к увеличению простоя станка, уменьшая тем самым производительность и увеличивая себестоимость. Себестоимость обработки и улучшение качества продукции являются важнейшими критериями в развитии обрабатывающей промышленности. К тому же с совершенствованием производственных технологий, влекущим за собой обработку более крупных и сложных деталей с использованием дорогих материалов, необходимость диагностики состояния режущего инструмента становится все более очевидной. По этим причинам, требования по качеству и производительности в рамках мировой конкурентоспособности вынудили многих производителей использовать автоматизированные системы диагностики состояния режущего инструмента (ДСРИ).

ДСРИ является крайне важной для осуществления эффективного процесса механической обработки. ДСРИ в режиме реального времени позволяет повысить эффективность обработки путем своевременной замены режущего инструмента, заблаговременного предотвращения его катастрофического износа или поломки. Чаще всего решения в системе ДСРИ принимаются на основании анализа данных о силе резания [1], параметрах вибрации [5], спектре акустической эмиссии [3], токе и мощности электродвигателя [4], звуковом давлении [2].

Анализ современных исследований показал [6-10], что в качестве одного из наиболее эффективных, надежных и чувствительных способов оценки состояния РИ в режиме реального времени, представляющего при анализе изнашивания режущего инструмента практический интерес, может быть использована, так называемая, вибрационная диагностика. Вибрации режущего инструмента в процессе обработки возникают вследствие трения в области контакта задней поверхности инструмента с заготовкой,

формирования нароста, волнистости рабочей поверхности. К тому же причиной возникающих в технологической системе вибраций являются автоколебания. Автоколебания возникают при отсутствии видимых внешних причин. Причины автоколебаний кроются в самом процессе резания. Они создают переменную силу и поддерживают автоколебательный процесс. Основными причинами появления автоколебаний являются непостоянство нароста, приводящее к изменению в процессе резания угла резания и площади поперечного сечения среза, непостоянство силы трения сходящей стружки о резец и резца о заготовку, неравномерное упрочнение срезаемого слоя по его толщине.

Работа [11] показала, что колебания токарного резца в устойчивом процессе обработки главным образом обусловлены трением задней поверхности инструмента о заготовку. Собственная частота колебаний инструмента является резонансной частотой системы, возмущаемая трением о режущее лезвие. Поэтому возникающая в технологической системе вибрация может быть использована в качестве эффективного, надежного и чувствительного способа при анализе изнашивания режущего инструмента. Следует отметить то, что в процессе резания возникающие в технологической системе вибрации адекватно связаны с реальным состоянием РИ, причем степень этой адекватности в значительной степени определяется степенью зависимости диагностического сигнала от материала заготовки, режимов резания, вида станка и др., а также типом используемого при этом датчика.

Вопросами вибрационной диагностики состояния режущего инструмента для процесса точения занимаются A. Gajate, R.E. Haber [6, 7]; V.S. Sharma, S.K. Sharma [8]; S. Tangjitsitcharoen, C. Rungruang [9]; R.G. Silva, S.J. Wilcox [10] и др. Однако в большинстве работ рассматривается обработка таких конструкционных материалов как серый чугун [6–8] и углеродистая сталь [9]. Наряду с этим все большее распространение получает обработка труднообрабатываемых материалов (жаропрочных и нержавеющей сталей), закаленных сталей и т.п.

**Целью** данной работы является экспериментальная проверка возможности использования характеристик динамического состояния

(вибрації) системи в процесі продольного точення закаленої сталі для діагностування износу режущого інструмента.

**Основная часть.** Для проведения эксперимента была разработана экспериментальная установка на основе токарно-винторезного станка 16К20Т1, оснащенного системой ЧПУ НЦ-31 (рис. 1).

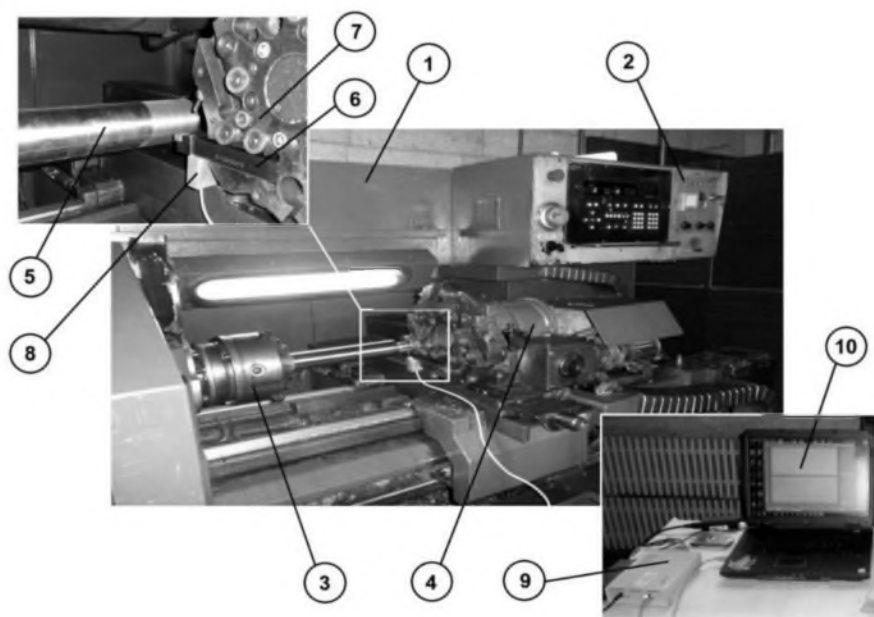


Рисунок 1 – Экспериментальная установка

Экспериментальная установка включает в себя непосредственно станок (1) с системой ЧПУ (2), установленную в патроне (3) и заднем центре (4) заготовку (5), резец (6), закрепленный в резцедержателе (7), вибродатчик (8), аналого-цифровой преобразователь (9) и портативный компьютер (10).

Принцип работы установки заключается в следующем. Вибрация, генерируемая в системе «станок – инструмент – деталь», регистрируется датчиком и в виде аналогового сигнала передается на АЦП, который в свою очередь преобразует сигнал в цифровой вид и передает на компьютер. Далее с помощью разработанной авторами программы проводится обработка полученных данных, в ходе которой строятся спектры сигналов и рассчитывается мощность вибрационного сигнала. Блок-схема расчета представлена на рис. 2. Мощность вибрационного сигнала – это интегральная характеристика спектра, вычисляемая по формуле:

$$E = \int_{f_1}^{f_2} A(f)df. \quad (1)$$

Графически это не что иное, как площадь фигуры, ограниченной кривой и прямыми, соответствующими определенным частотам (участкам временного интервала) и, следовательно, амплитудам спектра вибрационного сигнала, полученного методом быстрого преобразования Фурье (рис. 3).

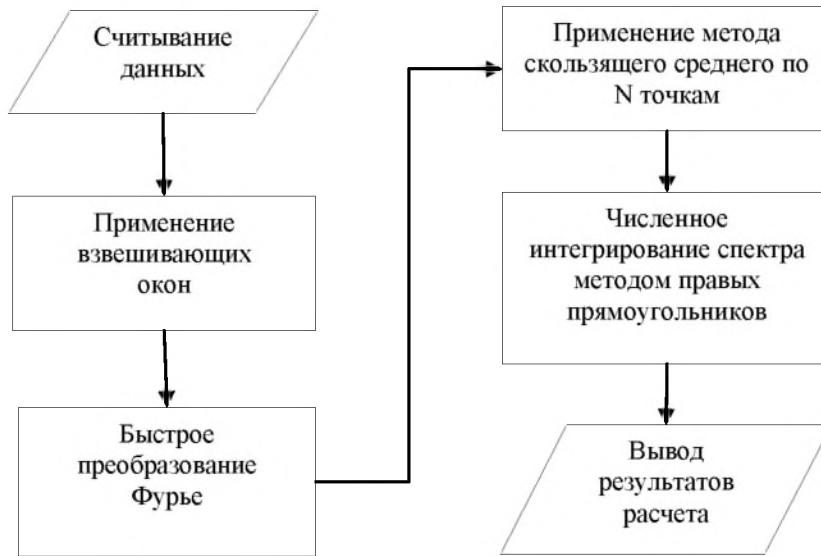


Рисунок 2 – Блок-схема обработки сигнала

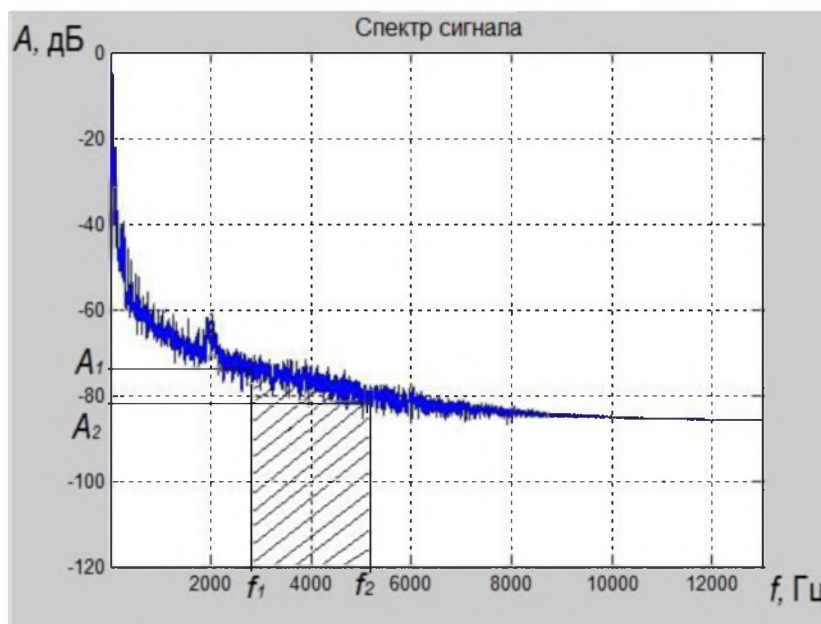


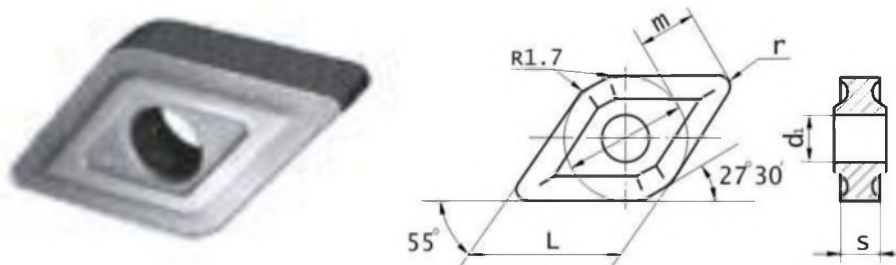
Рисунок 3 – Графическая интерпретация мощности вибрационного сигнала

Экспериментальные исследования проводились в два этапа. На первом этапе исследовалась зависимость динамических характеристик системы (мощности вибрационного сигнала) от режимов резания (глубины, подачи и скорости резания). При этом в качестве обрабатываемого материала использовалась закаленная сталь 40X (твердость HRC 45-50). Резец – PDJNR2525P15. Режущая пластина – DNMG150608 (производство SANDVIK Coromant), материал пластины – сплав CT35M. Режимы резания указаны в табл. 1.

Таблица 1 – Режимы резания для первого этапа эксперимента

№п/п	t, мм	s, мм/об	V, м/мин	Обрабатываемый – инструментальный материалы
1	0,3	0,07	100	Сталь 40X – CT35M
2	0,3	0,10	100	Сталь 40X – CT35M
3	0,3	0,15	100	Сталь 40X – CT35M
4	0,3	0,3	100	Сталь 40X – CT35M
5	0,5	0,10	100	Сталь 40X – CT35M
6	0,3	0,10	100	Сталь 40X – CT35M
7	0,2	0,10	100	Сталь 40X – CT35M
8	0,1	0,10	100	Сталь 40X – CT35M
9	0,3	0,10	40	Сталь 40X – CT35M
10	0,3	0,10	60	Сталь 40X – CT35M
11	0,3	0,10	100	Сталь 40X – CT35M
12	0,3	0,10	135	Сталь 40X – CT35M
13	0,3	0,10	200	Сталь 40X – CT35M

Режущая пластина DNMG150608



В результате проведения первого этапа экспериментальных исследований были получены зависимости (рис. 4-6), из которых видно, что при увеличении глубины и скорости резания мощность вибрационного сигнала возрастает, а с увеличением подачи – уменьшается.

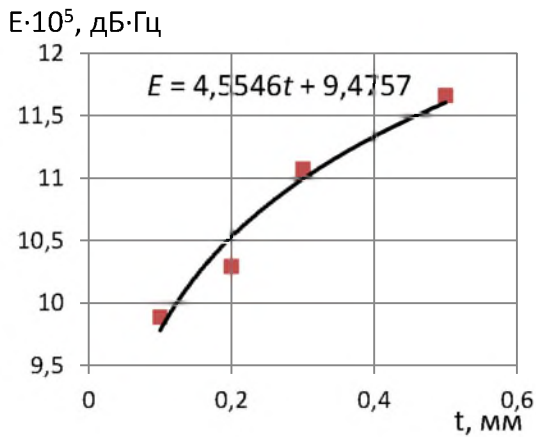


Рисунок 4 – Зависимость мощности вибрационного сигнала  $E$  от глубины резания  $t$  ( $s=0,1$  мм/об;  $V=100$  м/мин)

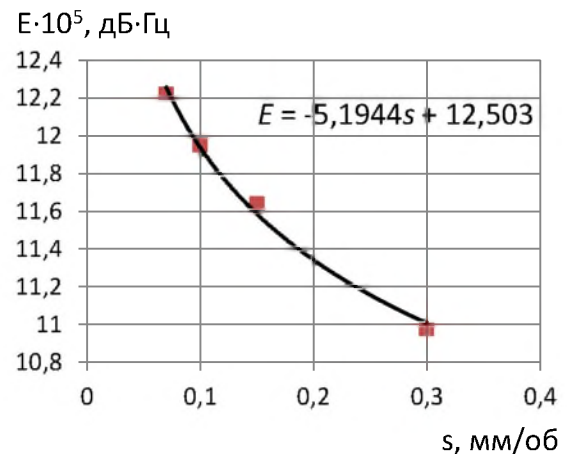


Рисунок 5 – Зависимость мощности вибрационного сигнала  $E$  от подачи  $s$  ( $t=0,3$  мм;  $V=100$  м/мин)

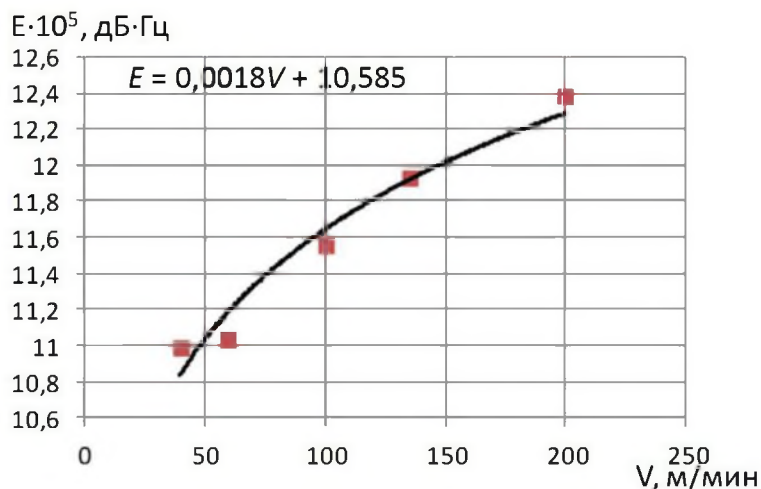


Рисунок 6 – Зависимость мощности вибрационного сигнала  $E$  от скорости  $V$  ( $t=0,3$  мм;  $s=0,1$  мм/об)

На втором этапе исследовалась зависимость динамических характеристик системы (мощности вибрационного сигнала) от величины площадки износа на задней поверхности инструмента. При этом в качестве обрабатываемого материала использовалась закаленная сталь 45 (твердость HRC 40-45). Резец – PDJNR2525P15. Режущая пластина –

DNMG150608 (производство SANDVIK Coromant), материал пластины – сплав CT35M. Режимы резания указаны в табл. 2. Износ инструмента измерялся после снятия его со станка непосредственно после каждого режущего прохода с помощью электронного микроскопа Intel Play QX3 с увеличением в 60 и 200 раз.

Таблица 2 – Режим резания для второго этапа эксперимента

№ п/п	t, мм	s, мм/об	V, м/мин	Обрабатываемый – инструментальный материалы
1	0,5	0,05	500	Сталь 45 – CT35M
Режущая пластина DNMG150608 				

В результате проведения второго этапа экспериментальных исследований получена зависимость (рис. 7), из которой видно, что с увеличением площадки износа резца по задней поверхности мощность вибрационного сигнала уменьшается.

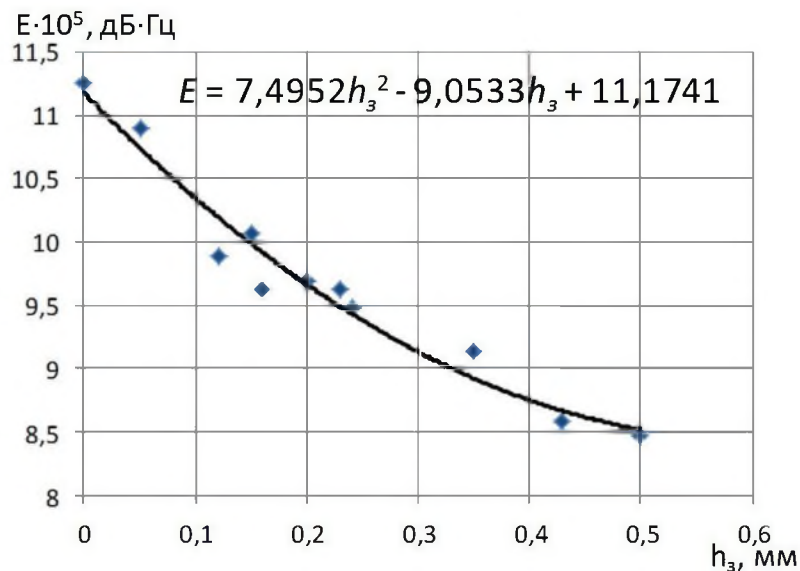


Рисунок 7 – Зависимость мощности вибрационного сигнала E от величины площадки износа резца  $h_3$  ( $t=0,5$  мм;  $s=0,05$  мм/об;  $V=50$  м/мин)



**Выводы.** В результате проведенных исследований установлено:

- параметры режима резания влияют на мощность вибрационного сигнала: при увеличении глубины резания от 0,1 мм до 0,5 мм мощность вибрационного сигнала возрастает на  $1,774 \cdot 10^5$  дБ·Гц, с увеличением подачи от 0,07 мм/об до 0,3 мм/об мощность вибрационного сигнала уменьшается на  $1,243 \cdot 10^5$  дБ·Гц, с увеличением скорости резания от 40 м/мин до 200 м/мин мощность сигнала возрастает на  $1,387 \cdot 10^5$  дБ·Гц;
- с увеличением площадки износа резца по задней поверхности от 0 мм до 0,5 мм мощность вибрационного сигнала уменьшается на  $2,775 \cdot 10^5$  дБ·Гц;
- доказано, что характеристики динамического состояния системы «станок-деталь-инструмент» в процессе продольного точения, в частности, мощность вибрационного сигнала, могут быть использованы для диагностики состояния режущего инструмента.

**Список использованных источников:** 1. K. Jemielniak, T. Urbanski et al. Tool condition monitoring based on numerous signal features, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2011. 2. H.Z. Li, X.Q. Chen et al. An Embedded Tool Condition Monitoring System for Intelligent Machining, International Journal of Computer Applications in Technology, 2007, Vol. 28, No. 1, pp. 74-81. 3. K. Patra. Acoustic Emission based Tool Condition Monitoring System in Drilling, Proceedings of the World Congress on Engineering, 2011, Vol. 3. 4. A. Salimi, M. Zadshakoyan et al. Drill wear prediction system using of motor current and fuzzy logic method, Iranian Journal of Materials Science & Engineering, 2012, Vol. 9, No. 2, pp. 15-29. 5. D. Li, H. Gao et al. Tool Condition Monitoring Based on Radial Basis Probabilistic Neural Networks and Improved Genetic Algorithm, Advanced Materials Research, 2010, Vols. 139-141, pp 2522-2526. 6. A. Gajate, R.E. Haber et al. Transductive-Weighted Neuro-Fuzzy Inference System for Tool Wear Prediction in a Turning Process, 2009, HAIS 2009, LNAI 5572, pp. 113-120. 7. A. Gajate, R. Haber et al. Tool wear monitoring using neuro-fuzzy techniques: a comparative study in a turning process 2010, Journal of Intelligent Manufacturing, 2012, Vol. 23, No. 3, pp. 869-882. 8. S. Tangjitsitharoen, C. Rungruang, N. Pongsathornwiwat. Advanced Monitoring of Tool Wear and Cutting States in CNC Turning Process by Utilizing Sensor Fusion, Advanced Materials Research, 2011, Vols. 189-193, pp. 377-384. 9. R.G. Silva, S.J. Wilcox. Sensor Based Condition Monitoring Feature Selection Using a Self-Organizing Map, Proceedings of the World Congress on Engineering, 2008, Vol. 2. 10. V.S. Sharma, S.K. Sharma, A.K. Sharma. Cutting tool wear estimation for turning, Journal of Intelligent Manufacturing, 2008, Vol. 19, pp. 99-108. 11. S.M. Pandit, S. Kashov. Variation in friction coefficient with tool wear, Wear, 1983, Vol. 84, pp. 65-79