

УДК 681.518.5:621.9.02

Залога В. А., Зинченко Р. Н., Гонщик А. В.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫБОРА ДАТЧИКА КАК ОСНОВНОГО ЗВЕНА СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Контроль процесса механической обработки включает получение и оценку данных измерительных устройств и параметров, характеризующих фактическое состояние различных технических систем. Одним из основных объектов диагностирования и контроля является режущий инструмент, так как в большой мере от его состояния и возможности выполнять процесс резания с обеспечением заданного уровня качества обработанной поверхности в значительной, а часто и определяющей, мере зависят все выходные показатели процесса обработки как технологические, так и экономические, а также, будет ли в конечном итоге произведена обработка в соответствии с требованиями чертежа детали. В настоящее время существует достаточно большое количество систем диагностирования состояния режущего инструмента в процессе обработки, созданных на основе использования самых различных датчиков, это – оптические [1, 2], пневматические [3, 4], механические [5, 6, 7], с помощью электрических явлений [8, 9], фотоэлектрические [10], с помощью акустической эмиссии [11, 12], с помощью акустического излучения [13], методы, основанные на измерении составляющих силы резания [14, 15], вибрационные [16, 17], методы, основанные на измерении температуры резания [18], комбинированные [19, 20, 21], и др.). Вместе с тем, анализ литературных источников показал, что до сих пор практически отсутствуют критерии оценки диагностических датчиков и методики, которые бы позволяли выбирать определенный (наилучший) метод или датчик диагностирования состояния инструмента для решения той или иной конкретной производственной задачи с ответом на вопросы: какого типа датчики можно использовать, и, какие необходимы средства (системы преобразования сигналов от датчиков) для регистрации и обработки информации, полученной при их использовании.

Целью данной работы является разработка критериев оценки диагностических датчиков, а также разработка методики выбора датчиков как основного звена системы диагностирования состояния режущего инструмента на основе анализа литературы по применению тех или иных методов диагностирования состояния инструментов.

Известно, что любая система диагностирования основана на использовании датчиков и подсистемы преобразования сигналов от датчиков. Датчик – сенсор (от англ. sensor) – термин, используемый в системах управления, и представляющий собой первичный элемент измерительного, сигнального, регулирующего или управляющего устройства системы, преобразующий контролируемую величину в удобный для использования сигнал. Все датчики, применяемые в системах диагностирования, должны в достаточно полной мере отвечать требованиям, представленным на рис. 1.

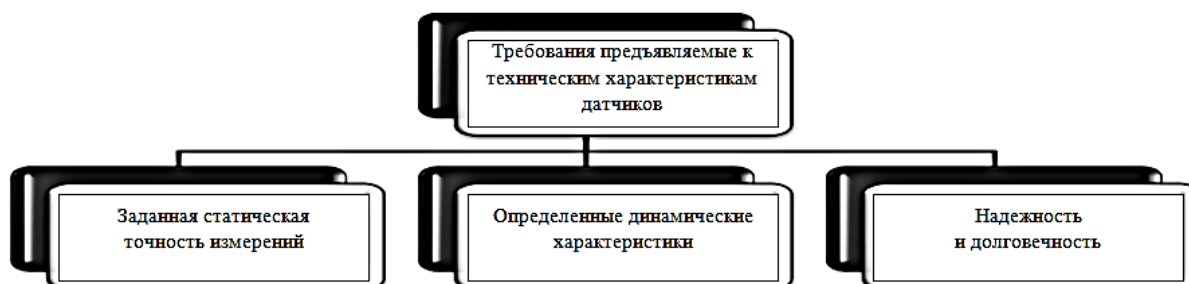


Рис. 1. Требования, предъявляемые к техническим характеристикам датчиков

Таким образом, от технических возможностей датчиков, а также от технических характеристик системы регистрации и обработки информации, полученной от них, будут зависеть и технические характеристики системы диагностики в целом. Для сравнения датчиков предлагаем использовать следующие критерии:

– *процесс*. Характеризует вид обработки. В данном случае предлагается ограничиться только наиболее часто применяемыми на практике процессами: точение, сверление, фрезерование, шлифование;

– *точность*. Характеризует точность обработки, под которой понимается оценка точности прямого определения непосредственно либо величины износа инструмента, либо изменения формы и размеров инструмента (косвенный метод), либо максимального регистрируемого изменения обрабатываемой детали (прямой метод). Предлагается использовать три группы оценок: высокая (порядка 1–10 мкм), средняя (10–100 мкм), низкая (100 мкм и более);

– *режим*. Характеризует режим диагностирования и включает две возможности: а) в процессе обработки (on-line); б) между переходами (off-line);

– *СОТС*. Характеризует возможность использования жидкой охлаждающей среды (СОЖ). Он может быть представлен как логическое условие: ДА (возможно использование СОЖ) и НЕТ (невозможно использование СОЖ);

– *стоимость*. Предложено условно разделить оценку систем диагностики по стоимости на четыре группы: 1) свыше 5000 грн; 2) от 1000 до 5000 грн; 3) от 500 до 1000 грн; 4) до 500 грн;

– *доработка*. Характеризует необходимость доработки инструмента и/или узлов станка для установки датчиков или системы регистрации сигналов от датчиков, может быть представлена как логическое условие: ДА/НЕТ;

– *подключение*. Характеризует вариант подключения датчика к системе регистрации сигнала. Он включает две возможности: а) проводное; б) беспроводное.

Результаты оценки датчиков, применяемых в современных системах диагностирования, по принятым критериям приведены в табл. 1.

Таблица 1

## Анализ применения датчиков по представленным критериям

Критерии		Датчики						
		ОД	ОД	ПД	ТД	ПН	АЭ	АИ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Процесс	Точение	1		1	1	1	1	1
	Сверление		1	1	1		1	
	Фрезерование	1		1	1		1	1
	Шлифование		1					
Точность	Высокая	1	1					
	Средняя			1			1	
	Низкая				1	1		1
Режим	On-line	1		1	1	1	1	1
	Off-line		1					
СОТС	ДА		1	1	1		1	1
	НЕТ	1				1		
Стоимость	1						1	
	2				1	1		
	3			1	1	1		
	4	1	1	1				1
Доработка	ДА				1	1		
	НЕТ	1	1	1	1		1	1
Подключение	Проводное	1	1	1		1	1	1
	Беспроводное							

Принятые в табл. 1 обозначения датчиков:

– *ОД* – *оптические датчики*. Оптические датчики промышленного назначения позволяют контролировать положение объектов и расстояние до них, а также определять контрастные и цветовые метки. Они подразделяются на: оптические лазерные датчики, оптические лазерные датчики перемещения и фотодатчики. Датчики данного типа использовались в работах D. A. Fadare, A. O. Oni, H. H. Shahabi, M. M. Ratnam, Деревянченко А. Г., Павленко В. Д. [22, 23, 24];

– *ПД* – *пьезоэлектрические датчики*. Действие пьезоэлектрических датчиков основано на использовании пьезоэлектрического эффекта (пьезоэффекта), заключающегося в том, что при сжатии или растяжении некоторых кристаллов на их гранях появляется электрический заряд, величина которого пропорциональна действующей силе. Пьезоэффект обратим, т. е. приложенное к кристаллу электрическое напряжение вызывает в зависимости от его знака (+ или –) соответствующую деформацию пьезоэлектрического образца – сжатие или растяжение, соответственно. Это явление, называемое обратным пьезоэффектом, используется для возбуждения и приема акустических колебаний звуковой и ультразвуковой частоты. Пьезоэлектрические датчики разделяются на: вибродатчики, акустические датчики и датчики крутящего момента. Для оценки износа инструмента, как правило, применяют вибродатчики, которые преобразуют вибрацию в электрический сигнал, пропорциональный виброскорости и изменению параметров вибрации. Особенности применения датчиков данного типа освещены в работах S. Purushothaman, Y. Cui, G. Wang, D. Peng [25, 26, 27, 28, 29, 30];

– *ТД* – *тензометрические датчики (тензодатчики)*. Тензодатчик – это преобразователь деформации твердого тела в электрический или цифровой сигнал. Действие тензодатчика сопротивления основано на свойстве металлической проволоки или фольги изменять свое электрическое сопротивление при растяжении или сжатии. Цифровые кварцевые тензодатчики способны обеспечивать измерение нагрузки с очень высокой точностью. Тензодатчики бывают: датчиками силы и датчиками перемещений. Для измерения износа инструмента использую датчики силы, которые применяются для измерения статических и динамических нагрузок. Данные датчики были применены для оценки состояния режущего инструмента F. Basciftci, H. Seker, H. Chelladurai, V. K. Jain, N. S. Vyas, Древаль А. Е., Карпович С. С., Литвиненко А. В. [31, 32, 33];

– *ПН* – *пневматические датчики*. Пневматические датчики можно разделяются на контактные и бесконтактные. При измерении контактным датчиком форма и качество поверхности контролируемой детали не влияют на показания, в то время как при бесконтактном пневматическом методе измерения их влияние существенно. Пневматические измерительные системы базируются на регистрации изменения давления. Они определяют объем воздуха, утекающего из небольшого отверстия в трубке (форсунке). Для обеспечения правильности функционирования пневматических измерительных систем, зазор между измерительной головкой и деталью, который составляет четвертую часть от диаметра отверстия форсунки, должен находиться в пределах сечения отверстия. Использование датчиков данного типа освещено в работах Лакирева С. Г., Пургина В. П. и др. [3, 4];

– *АЭ* – *датчики акустической эмиссии*. АЭ – явление возникновения и распространения упругих колебаний (акустических волн) во время деформации материала. Количественно АЭ представляет собой критерий целостности материала, который определяется его звуковым излучением. Уже в 70-е годы прошлого века стали известны работы по диагностированию методом АЭ [34]. Работы Подураева В. Н. и его учеников были посвящены исследованию технологической диагностики с помощью АЭ в диапазоне частот от 30 до 1200 кГц [35, 34]. В них доказана возможность диагностики процесса точения с помощью этого явления. В работах Dornfield-a, Chang-a, Hashimura, Lianga [36, 37, 38, 39] также разработаны методики применения сигналов АЭ для диагностики процессов механической обработки.

Для оценки состояния режущего инструмента, данные датчики были применены в работах V. S. Sharma, S. K. Sharma, A. K. Sharma, K. Patra, D. Li, H. Gao, Y. Shou, P. Du, M. Xu, A. A. Барзов и др. [40–45];

– *АИ – датчики акустического излучения*. Любой предмет, совершающий возвратно-поступательные (колебательные) движения, вызывает попеременное уменьшение или увеличение плотности окружающей его среды (воздух, жидкость, твердое тело и др.). Движения одних молекул среды передаются другим молекулам, в результате чего в пространстве распространяются периодически повторяющиеся зоны увеличения и уменьшения плотности. Они-то и представляют собой звуковую волну или акустическое излучение. Чаще всего в качестве датчиков используют акустические микрофоны, которые и преобразуют колебания окружающей среды в электрический ток. Работы по использованию датчиков АИ для диагностирования состояния РИ были проведены Н. Z. Li, X. Q. Chen, H. Zeng, X. Li, В. А. Залога и др. [46, 47, 48].

Табл. 1 позволяет разработать алгоритм выбора наилучшей системы диагностирования для решения любой поставленной производственной задачи, который заключается в следующем (рис. 2).

1. На первом этапе производится поиск существующих датчиков, которые практически можно использовать на данном производстве и приобрести их.

2. На втором этапе необходимо определиться с критериями выбора датчиков в зависимости от решаемой производственной задачи и произвести критериальный пошаговый отбор датчиков по набору критериальных таблиц или матриц, отвечающих за тот или иной датчик. Для большинства случаев будут подходить те критерии, которые описаны выше, и по которым уже проанализированы датчики. Для выбора метода диагностирования необходимо определиться со значениями критериев: *процесс, точность, режим, СОТС, стоимость, доработка, подключение*.

3. На третьем этапе необходимо сравнить заданные значения с критериальной матрицей каждого датчика, что позволит выбрать наилучший вариант практической реализации для необходимых производственных условий системы диагностики.



Рис. 2. Алгоритм выбора датчиков

## ВЫВОДЫ

В результате проведенных литературных исследований по изучению состояния вопроса о системах диагностирования и применяемым датчикам в системах диагностики предложены критерии и составлена таблица критериев различных типов датчиков, на основании которой разработана методика выбора датчиков как основного звена системы диагностирования состояния режущего инструмента.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tilo P. *Optoelektronische Bohreversshleibüberwachung* / P. Tilo, E. Jens // *VDI-Zeitschrift*. – 1990. – № 10. – С. 193–194.
2. А. с. 1514557 3, МКИ G 01 B 23/00. *Способ размерной настройки режущего инструмента на токарных станках с УЧПУ* / В. И. Захаров, В. Ф. Скачков. – № 1514557; заявл. 26.04.1990; опубл. 26.05.1990, Бюл. № 1. – 4 с.
3. А. с. 1549674 СССР, МКИ<sup>1</sup> B23 B49/00. *Способ пневматического контроля лезвийного инструмента* / С. Г. Лакирев, В. П. Пургин (СССР); заявитель и патентообладатель Челябинский политехнический институт. – № 4123636 В1-08; заявл. 04.07.86; опубл. 15.03.90, Бюл. № 10.
4. А. с. 1493392 3, МКИ В 23 В 49/00. *Пневматическое устройство для контроля целостности режущего инструмента* / В. И. Липовой, В. И. Певзнер, В. В. Седач, А. А. Мищенко. – № 4209648/2-08; заявл. 16.03.1987; опубл. 15.07.1989, Бюл. № 26. – 4 с.
5. А. с. 1442370 SU, МКИ В 23 Q 15/00. *Устройство для измерения размерного износа и положения режущего инструмента на токарных станках* / Ю. В. Скачко(SU). – № 4247859; заявл. 22.05.1985; опубл. 07.12.1988, Бюл. № 45. – 4 с.
6. Mou J. *A Method of Using Neural Networks and Inverse Kinematics for Machining Tools Error Estimation and Correction* / J. Mou // *J. of Manuf. Science and Engineering: Trans. of ASME*. – 1997. – Вып. 119. – С. 247–254.
7. Tanguy J. C. *Surveillance automatique des bris d'otis* / J. C. Tanguy // *Trav. et Meth.* – 1990. – № 478. – С. 45–48.
8. Trummer A. *Werkzeugverschleib sensorik für die primateilbearbeitung in flexiblen fertigungssystemen* / A. Trummer // *Fertigungstechn und Betr.* – 1990. – № 2. – С. 112–115.
9. Giampaolo E. *An adaptive approach to tool wear sensing and decay rate control in autonomous manufacturing* / E. Giampaolo // *J. Mech Work; Technol.* – 1989. – № 20. – С. 3–15.
10. Dietrich H. *Optischewerkzeubrunch – kontrolle* / H. Dietrich // *Technica (Suisse)*. – 1991. – № 7. – С. 47–48.
11. А. с. 1389991 SU, МКИ В 23 Q 15/00. *Способ контроля износа инструмента и устройство для его осуществления* / В. П. Акимочкин, А. А. Барзов (SU). – № 4174860; заявлено 29.10.1986; опубл. 23.04.1988, Бюл. № 15. – 4 с.
12. Горбунов С. С. *Нейросетевое моделирование контактных процессов при резании по сигналам-ЭДС и акустической эмиссии*: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / С. С. Горбунов. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет, 2004. – 22 с.
13. Залого В. А. *Исследование возможности применения метода диагностики по акустическому излучению при чистовом точении титанового сплава. Часть I [Текст]* / В. А. Залого, Р. Н. Зинченко // *Вісник СумДУ*. – 2008. – № 4. – С. 118–125. – (Серія «Технічні науки»).
14. Chen I. J. *An effective fuzzy-nets training scheme for monitoring tool breakage* / I. J. Chen // *J. Intell. Manuf.* – 2000. – Вып. 11. – № 1. – С. 85–101.
15. Древаль А. Е. *Диагностика состояния инструмента осевого типа* / А. Е. Древаль, С. С. Карпович, А. В. Литвиненко // *Диагностика технологических процессов в машиностроении*. – М., 1990. – С. 65–69.
16. Zhong B. *A study on in-process monitoring for tool wear* / B. Zhong, P. Huang, J. Mao // *4th Int. Conf. Comput. Aided. Prod. Eng.* – London, 1988. – С. 463–467.
17. Gengsheng L. *Characteristics analysis on vibration signal of twist drill wear in time and frequency domain* / L. Gengsheng, Z. Youzhen // *J. Nanjing Heronaut Inst.* – 1990. – № 3. – С. 37–42.
18. Hidenori S. *Устройство для обнаружения поломки инструмента* / S. Hidenori, H. Kuo-Jin, R. Mustafizur // *Trans. Jap. Soc. Mech. Eng. C*. – 1991. – № 538. – С. 2149–2153.
19. Chryssoloris G. *An experimental study of strategies for integrating sensor information in machining* / G. Chryssoloris, M. Domroese // *CIRP Ann.* – 1989. – Вып. 38. – № 1. – С. 425–428.
20. Сидякин В. Н. *Контроль состояния режущего инструмента и экспресс-оценка обрабатываемости резания на основе акустотермоэлектронной эмиссии* / В. Н. Сидякин, Г. Г. Палагнюк, Н. Н. Семенов // *Диагностика технологических процессов в машиностроении*. – М., 1990. – С. 61–65.
21. Держук В. А. *Двухпараметрическая система автоматизированной размерной настройки и контроля состояния режущего инструмента на основе сигнала акустической эмиссии и электромагнитного поля станка* / В. А. Держук, В. В. Кокаровцев, В. И. Науменко // *Диагностика технологических процессов в машиностроении*. – М., 1990. – С. 49–53.
22. Fadare D. A. *Development and application of a machine vision system for measurement of tool wear* // D. A. Fadare, A. O. Oni // *Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2009. – Vol. 4, No. 4. – P. 42–49.

23. Shahabi H. H. Assessment of flank wear and nose radius wear from workpiece roughness profile in turning operation using machine vision / H. H. Shahabi, M. M. Ratnam // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2009, Vol. 43. – P. 11–21.

24. Деревянченко А. Г. Отбор информативных признаков и распознавание состояний инструментов с применением нейронных сетей / А. Г. Деревянченко, В. Д. Павленко // *Резание и инструмент*. – Х. : ХГПУ, 2001. – № 59. – С. 52–57.

25. Purushothaman S. Tool wear monitoring using artificial neural network based on extended Kalman filter weight updation with transformed input patterns / S. Purushothaman // *Journal of Intelligent Manufacturing*. – 2010. – Vol. 21. – P. 717–730.

26. Cui Y. Tool wear monitoring in milling processes based on cointegration modeling / Y. Cui, G. Wang, D. Peng // *Applied Mechanics and Materials*. – 2010, Vols. 34–35. – P. 1746–1751.

27. Tool condition monitoring based on numerous signal features / K. Jemielniak, T. Urbanski, J. Kossakowska, S. Bombinski // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2011.

28. Vallejo A. J. On-line Cutting Tool Condition Monitoring in Machining Processes using Artificial Intelligence / A. J. Vallejo, R. Morales-Menendez, J. R. Alique // *Robotics, Automation and Control*. – 2008. – P. 143–166.

29. Prateepasen A. Acoustic Emission and Vibration for Tool Wear Monitoring in Single-Point Machining Using Belief network / A. Prateepasen, Y. H. J. Au, B. E. Jones // *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Budapest*. – Hungary, May 21–23, 2001.

30. Tool condition monitoring based on numerous signal features / K. Jemielniak, T. Urbanski, J. Kossakowska, S. Bombinski // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2011.

31. Basciftci F. On-line prediction of tool wears by using methods of artificial neural networks and fuzzy logic / F. Basciftci, H. Seker // *Scientific Research and Essays*. – 2010, Vol. 5(19). – P. 2883–2888.

32. Chelladurai H. Development of a cutting tool condition monitoring system for high speed turning operation by vibration and strain analysis / H. Chelladurai, V. K. Jain, N. S. Vyas // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2008. – Vol. 37. – P. 471–485.

33. Древаль А. Е. Диагностика состояния инструмента осевого типа / А. Е. Древаль, С. С. Карпович, А. В. Литвиненко // *Диагностика технологических процессов в машиностроении*. – М., 1990. – С. 65–69.

34. Подураев В. Н. Анализ и прогнозирование процесса резания методом акустической эмиссии / В. Н. Подураев, А. А. Барзов. – М. : МДНТП, 1978. – 5 с.

35. Подураев В. Н. Технологическая диагностика резания методом акустической эмиссии / В. Н. Подураев, А. А. Барзов, В. А. Горелов. – М. : Машиностроение, 1988. – 56 с.

36. Dornfeld D. Process monitoring and control for precision manufacturing / D. Dornfeld // *Production Engineering*. – 1999. – Вып. 6. – № 2. – С. 29–34.

37. Liang S. Y. Scratching process monitoring using acoustic emission signal analysis. Part I / S. Y. Liang, D. Dornfeld // *J. Acoustic emission*. – 1987. – Вып. 6. – № 1. – С. 29–36.

38. Chang P. An investigation of the AE in the lapping process / P. Chang, M. Hashimura, D. Dornfeld // *Annals of CIRP*. – 1996. – Вып. 45. – № 1. – С. 331–334.

39. Dornfeld D. Process monitoring for precision manufacturing / P. Chang, M. Hashimura, D. Dornfeld // *University of California, Berkeley CA 94720 USA, LMA Report 98*. – 1996. – С. 5–17.

40. Sharma V. S. Cutting tool wear estimation for turning / V. S. Sharma, S. K. Sharma, A. K. Sharma // *Journal of Intelligent Manufacturing*. – 2008. – Vol. 19. – P. 99–108.

41. Patra K. Acoustic Emission based Tool Condition Monitoring System in Drilling / K. Patra // *Proceedings of the World Congress on Engineering*. – 2011. – Vol. 3.

42. Tool Condition Monitoring Based on Radial Basis Probabilistic Neural Networks and Improved Genetic Algorithm / D. Li, H. Gao, Y. Shou, P. Du, M. Xu // *Advanced Materials Research*. – 2010. – Vols. 139–141. – P. 2522–2526.

43. Prateepasen A. Acoustic Emission and Vibration for Tool Wear Monitoring in Single-Point Machining Using Belief network / A. Prateepasen, Y. H. J. Au, B. E. Jones // *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*. – Budapest, Hungary, May 21–23, 2001.

44. Tool condition monitoring based on numerous signal features / K. Jemielniak, T. Urbanski, J. Kossakowska, S. Bombinski // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2011.

45. А. с. 1389991 SU, МКИ В 23 Q 15/00. Способ контроля износа инструмента и устройство для его осуществления / В. П. Акимочкин, А. А. Барзов (SU). – № 4174860 ; заявл. 29.10.1986 ; опубл. 23.04.1988, Бюл. № 15. – 4 с.

46. An Embedded Tool Condition Monitoring System for Intelligent Machining / H. Z. Li, X. Q. Chen, H. Zeng, X. Li // *International Journal of Computer Applications in Technology*. – 2007. – Vol. 28, No. 1. – P. 74–81.

47. Залога В. О. Исследование возможности применения метода диагностики по акустическому излучению при чистовом точении титанового сплава. Часть 1 / В. О. Залога, Р. Н. Зинченко // *Вісник сумського державного університету*. – Вид-во СумДУ : Суми. 2008. – № 4. – С. 118–125.

48. Зинченко Р. Н. Повышение эффективности точения за счет диагностики износа инструмента по акустическому излучению : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / Р. Н. Зинченко. – Харьков, 2005. – 188 с.