

УДК 621.941.08

## ТОЧНОСТЬ РАСПОЗНАВАНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ КОСВЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ

Медведев В.В.<sup>1</sup>, Медведев В.С.<sup>2</sup>, Гладченко А.А.<sup>1</sup> (<sup>1</sup>ДонНТУ, г. Донецк, <sup>2</sup>ДГМА, г. Краматорск, Украина)

E-mail: vadim.medvedev@ua.fm; <http://amim.org.ua>

***Аннотация.** В статье пояснён метод диагностики режимов резания токарной операции с ЧПУ на основе математического аппарата искусственного интеллекта. На основании экспериментов доказана возможность косвенной диагностики режимов резания непосредственно в процессе механообработки. Рассчитана точность диагностики отдельно для трёх составляющих режимов резания. Выявлено, что большая часть ошибки диагностики в таких системах приходится на момент врезания/перебега инструмента. Показано, что блок выявления моментов врезания и перебега значительно увеличивает точность распознавания системы*

***Ключевые слова:** режимы резания, искусственный интеллект, точность распознавания, датчики ЭДС резания, электромагнитное поле вблизи зоны резания*

### 1. Введение.

Внедрение в машиностроительных предприятиях современных обрабатывающих центров позволяет значительно сократить вспомогательное время как на установку-снятие деталей, так и на замену режущего инструмента. Ещё одним преимуществом такого оборудования является возможность получения высокого качества поверхности деталей без применения абразивной обработки. В то же время, по причине только периодического участия станочника в работе станка, существует проблема слежения за реальными режимами резания и качеством получаемого поверхностного слоя. Для решения этой задачи необходимо вводить системы косвенной диагностики [1], выполняющие измерения непосредственно в процессе механообработки.

Сигналы датчиков, установленных на станке несут в себе информацию практически обо всех процессах, происходящих на металлообрабатывающем оборудовании. Применение соответствующих методов выделения информации, делает возможным опередить практически любые интересующие показатели работы станка [2], в том числе текущие реальные режимы резания. Для построения диагностической системы был выбран математический аппарат искусственного интеллекта, позволяющий не только вычислять текущие показатели, но и проводить их краткосрочное прогнозирование [3, 5]. Изучалась возможность определения как получаемого качества поверхностного слоя деталей, так и реальных режимов резания непосредственно в процессе обработки, что стало **целью научных исследований**. Также выявлялись сбои работы стойки ЧПУ, столкновения и возможность своевременного краткосрочного прогноза поломки инструмента или станка.

### 2. Основное содержание и результаты работы.

Точность работы любой диагностической системы в значительной степени зависит от типа и параметров применяемых датчиков. Поэтому их выбор является одним из наиболее важных участков исследований. Для работы были выбраны датчики ЭДС резания и электромагнитного поля (ЭМП) зоны резания [4].

В качестве датчиков канала электромагнитного поля вблизи зоны резания применялась катушка, расположенная непосредственно возле зоны резания. Одним из условий являлось наличие магнитной связи между непосредственно зоной резания и ре-

гистрирующей катушкой. Для этих целей рационально применять катушку, намотанную непосредственно на инструмент. Например, в токарной обработке электрическая катушка наматывается непосредственно на державку резца. Не исключено применение магнитных связей через другие магнитные проводники: регистрация через деталь или даже стружку, так как последняя тоже является проводником и частично находится в непосредственной близости к зоне резания. В процессе проектирования датчиков электромагнитного поля вблизи зоны резания его конструктивные параметры в первую очередь определяются размерами сердечника. Вариации осуществляются количеством витков катушки и расположением на державке.

Для уменьшения влияния шумов регистрирующей аппаратуры необходимо увеличить размах сигнала на выходе датчика. Чем больше витков, тем больше амплитуда на выходе датчика. Однако их большое количество, в свою очередь, требует уменьшения диаметра провода и тем самым снижает надёжность конструкции. Так же увеличение количества витков приводит к нежелательному увеличению эффекта самоиндукции. Для возможности применения однотипных электрических предварительных усилителей количество витков выбирается исходя из равенства сигналов от всех датчиков системы.

Таблица 1. План эксперимента по определению характера кривой информативности диагностических частот при предварительной обработке

№	V(n)	t	S	X0	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3
	129(190)..182(267)	1..2	0,2..0,3							
1	129	1	0,2	0	0	0	0	24	1	2
2	129	1	0,3	0	0	0	1	5	8	7
3	129	2	0,2	0	0	1	0	21	13	16
4	129	2	0,3	0	0	1	1	18	10	4
5	182	1	0,2	0	1	0	0	12	15	22
6	182	1	0,3	0	1	0	1	11	6	17
7	182	2	0,2	0	1	1	0	20	14	3
8	182	2	0,3	0	1	1	1	19	23	9

Таблица 2. План эксперимента по определению характера кривой информативности диагностических частот при окончательной обработке

№	V(n)	t	S	X0	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3
	91(134)..109(160)	3..4	0,4..0,81							
1	91	3	0,4	0	0	0	0	5	23	11
2	91	3	0,81	0	0	0	1	6	24	21
3	91	4	0,4	0	0	1	0	4	10	1
4	91	4	0,81	0	0	1	1	17	14	9
5	109	3	0,4	0	1	0	0	22	12	13
6	109	3	0,81	0	1	0	1	3	8	19
7	109	4	0,4	0	1	1	0	7	16	15
8	109	4	0,81	0	1	1	1	20	18	2

Для подтверждения теоретических выкладок были поставлены эксперименты, в которых проводилась обработка резанием на станках токарной группы. Задачей экспериментальной части являлось получение синхронных данных сигналов диагностических каналов и соответствующих параметров режимов резания.

Были выполнены две группы экспериментов: предварительная получистовая и окончательная токарная обработка. По рассчитанным режимам резания в каждом отдельном случае предварительно составлялась матрица планирования неполного факторного эксперимента, пример которого приведен в таблицах 1, 2.

Для перекрытия всего диапазона возможных режимов резания в первой серии экспериментов проводились испытания на граничных режимах резания. В последующей серии матрицы экспериментов предполагали плавное изменение одного из параметров режимов резания. Если на станках с ЧПУ это не представляло затруднений, то на универсальном оборудовании изменение режимов проводилось различными техническими приёмами. Плавное изменение скорости резания достигалось поперечным точением, а изменение глубины резания – точением конусных поверхностей. Данные плавного изменения режимов резания использовались для контроля точности обучения нейросетевой модели.

После каждого прохода проводились замеры не только реальных режимов резания, но и качества получаемой поверхности, состояния режущей пластинки. Также проводилось фотографирование получаемой стружки для проведения экспертной оценки её характера.

Для упрощения получения данных о режимах резания выполняются точечные замеры, а значения между ними рассчитывают с помощью криволинейной интерполяции. В экспериментах использовалась интерполяция с интеллектуальным выбором ширины фрейма.

Настройка велась по специально сформированной тестовой записи. Она представляла собой смонтированные записи сигналов от диагностических датчиков ЭДС и ЭМП резания. Записи охватывали практически весь диапазон режимов резания токарной обработки цилиндрической заготовки. Специально для определения реакции полученной системы на внештатные ситуации, при записи 17 участка были имитированы потери контакта с каждым из датчиков поочерёдно. А на участке 18 проводилась обработка детали с внутренним дефектом.

При создании нейросетевой модели решалось ряд задач:

- определение принципиальной возможности построения системы косвенной диагностики режимов резания;
- вычисление информативности диагностических каналов относительно параметров режимов резания;
- определение границы длительности краткосрочных прогнозов поломки инструмента;
- выявление наиболее рациональных алгоритмов, реализующих стабильное и точное определение режимов резания.

Таким образом, ставилась задача получения нейромоделей определения реальных режимов резания и краткосрочного прогноза состояния инструмента. В первой серии экспериментов проводилось обучение нейросетей, а во второй – проверка реагирования нейромоделей на промежуточные значения. По необходимости во второй серии проводилось дообучение моделей. При достижении приемлемой ошибки нейросети проводился математический анализ полученной нейромодели.

Для проверки точности работы моделей рассчитаем показатели режимов резания для второй половины тестовой записи, которая не использовалась в процессе обучения нейросети. При расчёте адекватности модели участки 17 и 18 записи (от 218 до 240 сек.) не принимались во внимание, так как в них проводились исследования реакции системы на внештатные ситуации. На участке 17 (где имитировалась потеря контакта с одним из датчиков поочерёдно) точность определения режимов резания остаётся в при-

емлемых пределах. Так же возрастает разброс значений и при обработке заготовки с дефектом на участке 18.

По плану эксперимента, представленному в таблицах 1-2, были выполнены серии экспериментов, в которых фиксировались сигналы от датчиков. Спектр этих сигналов представлен на рис. 1-2. Синий цвет на спектрах соответствуют мощности сигнала менее -80дБ, а красный более -10дБ.

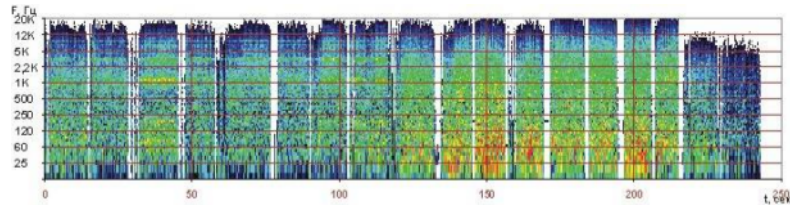


Рис. 1. Спектр сигнала от датчика ЭМИ зоны резания

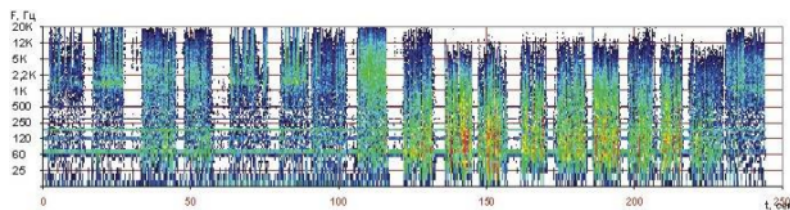


Рис. 2. Спектр сигнала ЭДС зоны резания

В результате проведённых экспериментов были построены графики изменения режимов резания, представленные на рисунках 3-5. На них чётко видны 16 участков, соответствующие режимам резания таблицы 1 и 2. 17 и 18 участки описаны выше. Линиями проведены реальные значения, а точками нанесены значения режимов резания, рассчитываемые нейросетевой моделью.

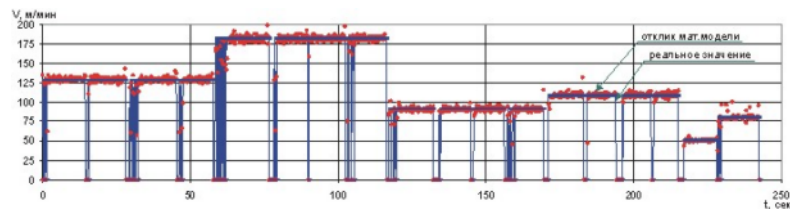


Рис. 3. Изменение скорости резания

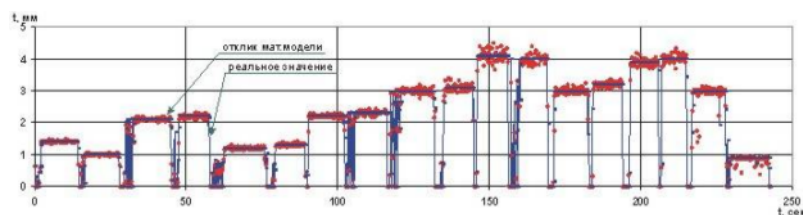


Рис. 4. Изменение глубины резания

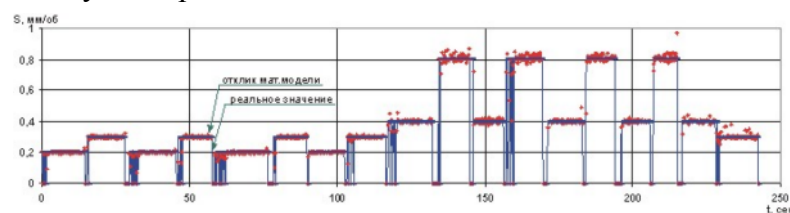


Рис. 5. Изменение подачи

Первоначально, для исследуемых параметров скорости резания, подачи и глубины резания по методике [6, 7] был рассчитан критерий Кокрена. Для этого были сгруппированы результаты трёх серий параллельных экспериментов по 16 опытов в каждом. По расчётам, критерий Кокрена не превышает табличную величину  $F_{\text{табл}}=2,21$ , найденную из условия числа степеней свобод 3 и числу экспериментов 15. Таким образом было доказано, что эксперименты воспроизводимы.

Проверка адекватности для систем, работающих в реальном масштабе времени разделяется на 2 этапа: классическая проверка адекватности математической модели по критериям, например, Фишера или Бартлетта и проверка максимальной ошибки всей системы. Последняя проверка связана со спецификой систем реального масштаба – в любой момент времени в таких системах нет права на ошибку, так как применение алгоритмов игнорирования выбросов на основе критериев Романовского, Шовине или вариационного критерия Диксона и т.п., приведёт во-первых к уменьшению времени отклика системы из-за статистических нюансов, во-вторых к отсутствию информации в указанные моменты времени.

На первом этапе расчёта адекватности итоговый коэффициент Фишера меньше табличного  $G_{\text{табл}}=0,335$  (для  $N=4$  и  $K=2$ ), что указывает на адекватность модели. По результатам 4 серии параллельных экспериментов были рассчитаны максимальные погрешности системы по всем определяемым параметрам. Как видно из таблицы 3, ошибка системы при установившемся резании не превышает 24%. Значительные ошибки в процессе врезания и перебега поясняются сложностью измерений контролируемых параметров на этих участках, что приводит к суммированию ошибок самой системы диагностики и непосредственных измерений. Большой процент ошибок при определении глубины резания объясняется невозможностью точной оценки этих параметров на границе поверхностей. Ещё одна причина ошибок при анализе моментов врезания перебега это возникновением сильных помех из-за мостика из стружки между деталью и инструментом.

Таблица 3. Анализ точности работы системы диагностики

Средняя ошибка с учётом врезания и перебега инструмента			Максимальная ошибка с включенным блоком выявления врезания и перебега инструмента		
V, %	t, %	S, %	V, %	t, %	S, %
59	97	49	15	22	14

При максимальной ошибке параметров качества их значения не выходят за пределы одного класса. В итоге, точность данной диагностической системы находится в приемлемых с точки зрения инженерных расчётов пределах.

Работа блока выявления врезания и перебега основана на двух диагностических каналах – листинге программы числового программного управления станка и специфической комбинации сигналов от датчиков ЭДС и ЭМП вблизи зоны резания.

Для распознавания моментов врезания или перебега в листинге программы выделяются специфические части траектории перед и после точек перехода между ускоренным ходом и рабочей подачи. Эти части траектории считаются наиболее вероятными для моментов врезания и перебега инструмента. Как показали эксперименты, в 96% случаев врезания и перебега сигналы ЭДС и ЭМП вблизи зоны резания значительно отличаются между собой по сравнению с моментами установившегося резания. Это связано с тем, что в эти моменты электромагнитная связь уже существует, а силового контакта ещё нет. Данная часть системы повышает общую точность распознавания реальных режимов резания.

### 3. Заключение.

В ходе экспериментов были выявлены нюансы построения интеллектуальных диагностических систем на основе алгоритмов искусственных нейронных сетей. Ос-

новные усилия при построении таких систем затрачиваются на получение достоверных обучающих данных, а также на выбор метода математической подготовки сигнала к вводу в нейросеть. Погрешность распознавания режимов резания непосредственно в процессе обработки при условии отсечения моментов врезания и перебега не превышает 15-20%.

**Список литературы.** 1. Остафьев В.А. Диагностика процесса металлообработки / В.А.Остафьев, В.С.Антонюк, Г.С. Тымчик. — К.: Наукова думка, 1992. — 152 с. 2. Кабалдин Ю.Г. Адаптивное управление технологическими системами механообработки на основе искусственного интеллекта / Ю.Г.Кабалдин, С.В.Серый, С.В.Биленко // Вестник машиностроения. — 2004. — №6. — С. 46-48. 3. Медведев В.В. Краткосрочный прогноз состояния обрабатываемой поверхности / В.В. Медведев, В.С. Медведев // Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров: Сборник трудов IV Международной научно-методической конференции в г. Хаммамет с 28 октября по 6 ноября 2010. — Донецк: ДонНТУ, 2010. — С. 190-192. 4. Медведев В.В. Особенности диагностики качества механообработки с применением интеллектуальных систем / В. В. Медведев, В. С. Медведев // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. — Краматорськ: ДДМА, 2008. — № 3Е(14). — С. 131-135. 5. Петрешин Д.И. Обеспечение параметров качества поверхностного слоя деталей при точении самообучающейся технологической системой // Вестник Брянского государственного технического университета — Брянск:БГТУ, 2006. — № 2(10). — С. 140-144. 6. Сергеева В.А. Система статистического управления качеством продукции / В.А.Сергеева, А.С.Пуряев // Машиностроитель. — 2003. — №10. — С. 30-37. 7. Мазманишвили А.С. Статистическое описание многоточечного квадратичного критерия качества при технологической обработке шероховатых поверхностей / А.С.Мазманишвили, А.Ю.Сидоренко // Механика и машиностроение. — 2004. — №1. — С. 240-245.

#### ACCURACY RECOGNITION OF REGIMES OF CUTTING AT INDIRECT DIAGNOSTIC OF TURNING

Medvedev V.V.<sup>1</sup>, Medvedev V.S.<sup>2</sup>, Gladchenko A.A.<sup>1</sup> (<sup>1</sup>DonNTU, Donetsk, <sup>2</sup>DSEA, Kramatorsk, Ukraine)

**Abstract:** In paper the method of diagnostic of regimes of cutting of turning process with CNC on the basis of an artificial intellect mathematical apparatus is illustrated. Ground experiments the possibility of indirect diagnostic of regimes of cutting directly in process mechanic is proved. It is revealed, that the bulk of a mistake of diagnostic in such systems is necessary at the moment of instrument incision/rerun. It is shown, that the block of detection of the moments of incision and overtravel considerably increments accuracy of recognition of system

**Keywords:** cutting regimes, an artificial intellect, accuracy of recognition, an electromagnetic field near to a cutting working area

#### ТОЧНІСТЬ РОЗПІЗНАВАННЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ПРИ НЕПРЯМОЇ ДІАГНОСТИКИ ТОКАРСЬКОЇ ОБРОБКИ

Медведєв В.В.<sup>1</sup>, Медведєв В.С.<sup>2</sup>, Гладченко Г.А.<sup>1</sup> (<sup>1</sup>ДонНТУ, м. Донецьк, <sup>2</sup>ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

**Анотація.** У статті пояснений метод діагностики режимів різання токарської операції зі ЧПК на основі математичного апарата штучного інтелекту. На підставі експериментів доведена можливість непрямой діагностики режимів різання безпосередньо в процесі механообробки. Виявлено, що більша частина помилки діагностики в таких системах доводиться на момент врізання/перебігу інструмента. Показано, що блок виявлення моментів врізання й перебігу значно збільшує точність розпізнавання системи

**Ключові слова:** режими різання, штучний інтелект, точність розпізнавання, датчики ЕДС різання, електромагнітне поле поблизу зони різання

Надійшла до редколегії 21.06.2011 р.