

**С.А. Мельников, А.Н. Нестеров, Р.Р. Нургалин, С.А. Щеглов**

Пермский государственный технический университет

## **ПРИМЕНЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ И ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ**

Доказана целесообразность применения диагностического центра для проведения лабораторных работ и исследования процесса резания с применением ЭВМ, рассмотрено оборудование для измерения.

Технологический прогресс развивается стремительными темпами, объем информации увеличивается в геометрической прогрессии. В связи с этим появилась потребность в создании специализированного оборудования, которое способно создавать, хранить, обрабатывать и выдавать информацию. Появление новых технологий, таких как микропроцессоры и ЭВМ, помогло устранить проблему, связанную с огромным потоком информации. На различных видах производства внедрение новых технологий позволяет соответствовать необходимой скорости и удобству контроля качества, требуемым свойствам современной продукции. В данной статье рассмотрено применение диагностического центра для проведения лабораторных работ и исследования процесса резания с применением ЭВМ.

До появления ЭВМ не предоставлялась возможность обрабатывать, сравнивать и получать все данные на одном приборе, который бы записывал и хранил полученные результаты, не была разработана инженерная методика, учитывающая геометрию режущего инструмента и обрабатываемой детали в условиях сложного напряженно-деформированного состояния при высоком уровне скоростей деформирования и высоких температурах, которые существенным образом влияют на процесс резания. Большие габариты усилителей и считывающих устройств не позволяли размещать их на производстве и диагностировать технологический процесс непосредственно на производстве. С появлением современных станков с ЧПУ, управляемых современными системами и ЭВМ, представилась возможность косвенной диагностики режимов резания и контроля режущего инструмента непосредственно во время производства. Система ЧПУ, оснащенная системой диагностики, по каналам об-

ратной связи может диагностировать все процессы и явления, происходящие в зоне обработки детали, и производить коррекцию режимов обработки.

С появлением микрокомпьютеров и ноутбуков появилась возможность мобильной диагностики режимов обработки на различных станках и оборудовании производства машиностроения. Модули USB, имеющие малые габариты, с возможностью обрабатывать до 36 каналов одновременно, облегчили диагностику и контроль многих параметров. Исчезла потребность внедрения в электросхему оборудования – с применением малогабаритных датчиков типа тензорезисторов или их аналогов.

Целью применения диагностического центра является измерение параметров физических явлений в процессе механической обработки для сокращения трудоемкости и материалоемкости выбора режимов резания материалов на этапе технологической подготовки производства, наглядности и демонстрации лабораторных работ по силам и температуре резания с помощью компьютерной диагностики.

Эксперименты проводятся на токарно-винторезном станке при продольном точении образцов. Опыты выполняются по методике классического (однофакторного) эксперимента, т.е. планомерно изменяют один фактор, влияющий на силу и температуру резания, другие факторы оставляют неизменными. В результате выполнения этой части экспериментов получают зависимость силы резания от данного фактора. Затем изменяют другой фактор, остальные, включая и первый, в ходе выполнения экспериментов не меняют. Получают зависимость силы резания от второго фактора и т.д.

Эксперименты выполняются при следующих условиях:

- обрабатываемый материал: сталь 45;
- инструмент – проходной динамометр, оснащенный пластинкой из твердого сплава Т15К6;
- геометрические параметры инструмента:  $\gamma = 10$ ;  $\alpha = 8^\circ$ ;  $\alpha_1 = 8^\circ$ ;  $\varphi = 45^\circ$ ;  $\varphi_1 = 45^\circ$ ;  $\lambda = 0^\circ$ ;  $r_b = 0,5$  мм;
- обработка образца производится без охлаждения;
- время сбора данных (включение АЦП) – 15 с.

Эксперименты выполняются в следующем порядке:

1. Проводится резание обрабатываемого материала при последовательно изменяемых по схеме классического эксперимента параметрах режима резания:

а) базовые параметры режима резания:  $t = 1,5$  мм;  $S = 0,20$  мм/об;  $n = 200$  об/мин;

б) переменные параметры режима резания:

$$t = 1,0 - 1,5 - 2,0 - 2,5 \text{ мм;}$$

$$S = 0,14 - 0,16 - 0,24 - 0,3 \text{ мм/об};$$

$$n = 50 - 100 - 200 - 400 \text{ об/мин.}$$

На каждом режиме резания после того, как процесс резания установился, производится запись показаний АЦП.

2. Результаты измерений записываются в файл, после всех экспериментов анализируются в отдельном окне программы, а затем при помощи тарировочных графиков показания переводятся с кода АЦП в кг · Н и °С.

3. Построение в прямоугольных координатах графиков зависимости касательной составляющей силы резания  $P_z$  от глубины резания  $t$ .

4. Построение этой зависимости в двойных логарифмических координатах и определение показателя степени  $X_{P_z}$ .

5. Аналогичным путем (п.п. 3–4) определяется  $Y_{P_z}$  и  $Z_{P_z}$ .

6. Определение величины  $C_{P_z}$  по формуле

$$C_{P_z} = P_z / (t^{X_{P_z}} S^{Y_{P_z}} V^{Z_{P_z}}).$$

Для этого подставим в формулу фактические значения  $P_z$ ,  $t$ ,  $S$ . Определим три таких значения и найдем среднее арифметическое.

7. Определение показателей степени  $Z_T$ ,  $Y_T$  и  $X_T$  по формулам

$$T = C_1 V^{Z_T},$$

где  $T$  – температура резания, °С;

$C_1$  – коэффициент, зависящий от условий обработки (обрабатываемого материала, глубины резания, подачи, геометрических элементов режущей части резца, смазочно-охлаждающей жидкости);

$Z_T$  – показатель степени, характеризующий интенсивность прироста температуры с увеличением скорости резания. В зависимости от свойств обрабатываемого материала и вида обработки  $Z_T = 0,26 - 0,72$ ;

$$T = C_2 V^{Y_T},$$

где  $C_2$  – коэффициент, зависящий от условий обработки;

$Y_T$  – показатель степени, характеризующий интенсивность прироста температуры с увеличением подачи. При точении сталей  $Y_T = 0,20 - 0,45$ ;

$$T = C_3 t^{X_T}$$

где  $C_3$  – коэффициент, зависящий от условий обработки;

$X_T$  – показатель степени, характеризующий интенсивность прироста температуры с увеличением глубины резания,  $X_T = 0,03 - 0,10$ .

8. Анализ результатов, характера полученных закономерностей.

Рассмотрим оборудование, применяемое в данных исследованиях:

1. «Камертон» – многоканальный анализатор (рис. 1). Возможности прибора:

– определение трещин, полостей и иных несплошностей в элементах различных конструкций (устьевой арматуре нефтяных и газовых скважин, металлоконструкции станков-качалок, роторах электрических машин, высоковольтных изоляторах), а также определение качества сварных и фланцевых соединений элементов конструкций;

– вибродиагностика динамического оборудования (насосов, компрессоров, вентиляторов, турбин и др.);

– диагностика методом ваттметрграфирования редукторов, электродвигателей, насосов, компрессоров, вентиляторов, турбин, глубинных штанговых насосов станков-качалок и др.



Рис. 1. Многоканальный прибор для измерения и анализа вибрации «Камертон»

2. IN 3000 – стационарный инфракрасный пирометр для бесконтактного измерения температуры неметаллических или окрашенных (анодированных) металлических объектов или металлических объектов с покрытием в диапазоне от 0 до 500 °С (рис. 2).

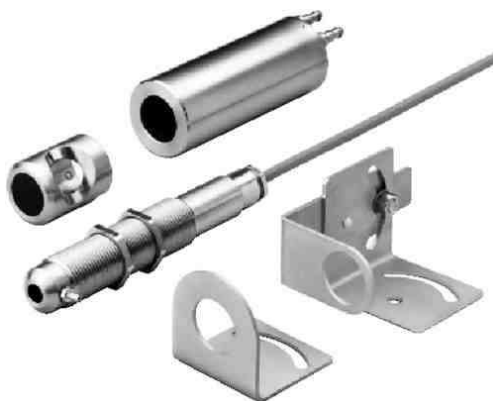


Рис. 2. Инфракрасный бесконтактный пирометр IN 3000

3. Электретный микрофон с активным усилителем МКУ-1: полоса частот от 150 Гц до 10 кГц, максимальное расстояние передачи сигнала по проводу диаметром 0,5 мм (не менее) 1000 м, габариты 28×7×7 мм<sup>3</sup>, чувствительность микрофона на частоте 1000 Гц (не менее) 7 мВ/Па, диапазон громкости звука 65–105 Дб.

4. Датчик мощности SKM: переменный ток 5–50 А, переменное напряжение 200–250 В, активная мощность 1000–12 500 Вт.

5. Датчик вибрации ВД03А (рис. 3).

Отклонение осевого коэффициента преобразования при использовании номинального пониженного напряжения питания	%	–	1
Нижняя рабочая частота	Гц	–	4
Верхняя рабочая частота	Гц	8000	–
Неравномерность осевого коэффициента преобразования в рабочем диапазоне частот	дБ	–	1
Относительный поперечный коэффициент преобразования	%	–	5
Верхний уровень измеряемого ускорения	<i>g</i>	30	–
Номинальное напряжение питания	В	14,25	15,75

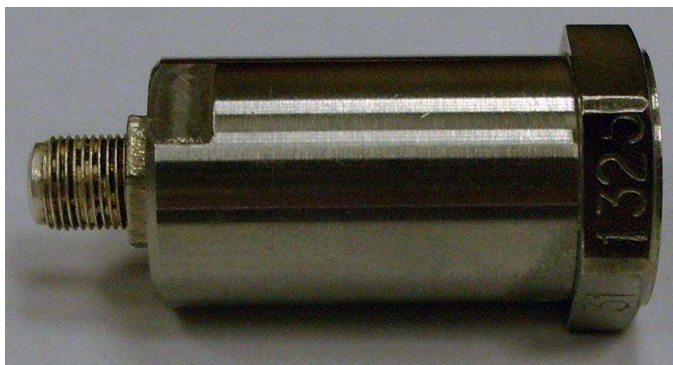


Рис. 3. Датчик вибрации ВД03А

6. Лазерный отметчик «ОЛ-4» (рис. 4): потребляемая мощность – 5 мВт; длина волны – 650 нм.



Рис. 4. Отметчик лазерный «ОЛ-4»

7. Токовые клещи-пробники КЭИ-м (рис. 5).

Характеристика	КЭИ-м
Диапазон измеряемых токов, А	0–20, 0–50, 0–100, 0–200, 0–400
Основная приведенная погрешность, не более, %	3
АЧХ в пределах 2 %, не хуже, Гц	0–10 000
Выходной сигнал при нулевом измеряемом токе, В	0,02
Ток потребления в режиме холостого хода, мА	10
Источник питания, В	+7...+15



Рис. 5. Токовые клещи-пробники КЭИ-м

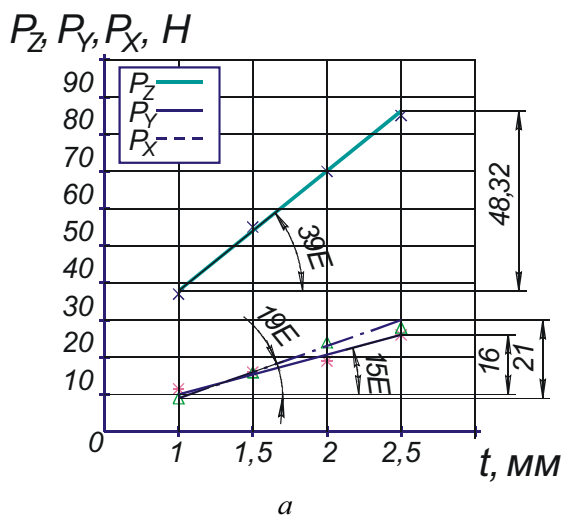
Далее проводим обработку данных, полученных в экспериментальных исследованиях (табл. 1).

Таблица 1

**Зависимость касательной составляющей силы, температуры резания от элементов режима резания**

Номер серии опыта	$t$ , мм	$S_0$ , мм/об	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$V$ , м/мин	$P_z$ , Н	$P_y$ , Н	$P_x$ , Н	$T$ , °С
1	1	0,2	200	25,93	37	11,5	9	53
	1,5				55	16	16	90
	2				70	19	24	90
	2,5				85	26	28	140
2	1,5	0,14	200	28,82	30	11	6	55
		0,16			52	18	15	85
		0,24			53	19	15	80
		0,3			54	19	15	80
3	1,5	0,2	50	7,2	51	14	8	20
			100	14,4	55	18	9	50
			200	28,82	54	20	15	105
			400	57,65	52	19	11	150

Выполняем построение в прямоугольных координатах графиков зависимости касательной составляющей силы резания  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$  (рис. 6, а) и температуры и (рис. 6, б) от глубины резания  $t$ .



$$\operatorname{tg} \alpha_{P_Z} = \frac{48,32}{60} = 0,8$$

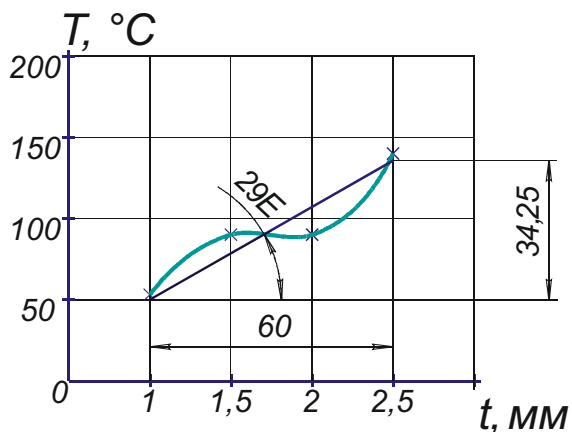
$$\alpha = 39^\circ$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{P_Y} = \frac{16}{60} = 0,27$$

$$\alpha = 15^\circ$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{P_X} = \frac{21}{60} = 0,35$$

$$\alpha = 19^\circ$$

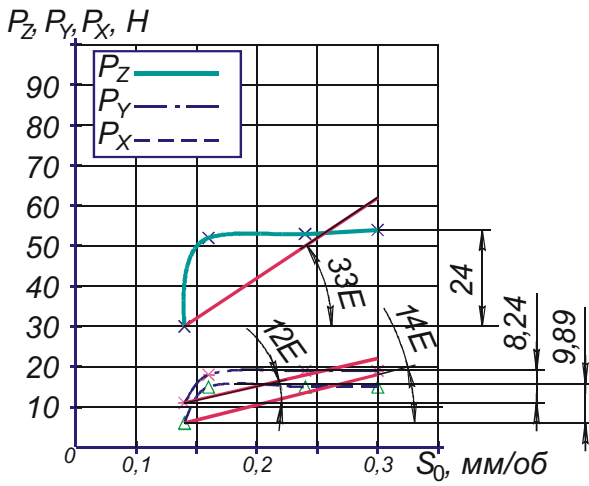


$$\operatorname{tg} \alpha_{P_X} = \frac{34,25}{60} = 0,57$$

$$\alpha = 29^\circ$$

Рис. 6. График зависимости: а – касательной составляющей силы резания  $P_Z, P_Y, P_X$  от глубины резания  $t$ ; б – касательной составляющей температуры резания от глубины резания  $t$





$$\operatorname{tg} \alpha_{P_z} = \frac{24}{47,5} = 0,55$$

$$\alpha = 33^\circ$$

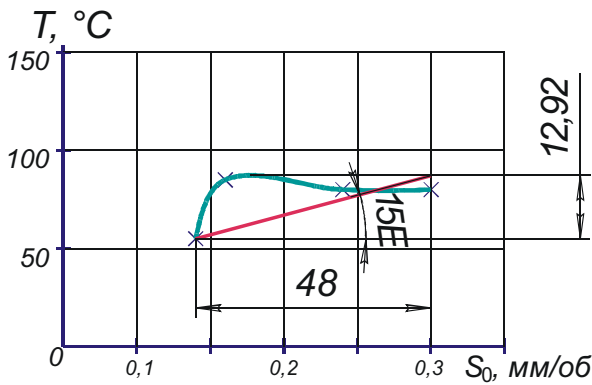
$$\operatorname{tg} \alpha_{P_y} = \frac{8,24}{47,5} = 0,17$$

$$\alpha = 12^\circ$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{P_x} = \frac{9,89}{47,5} = 0,2$$

$$\alpha = 14^\circ$$

a

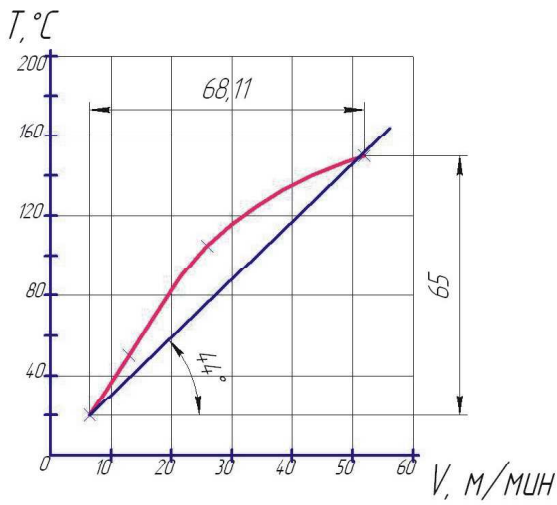


$$\operatorname{tg} \alpha_{P_x} = \frac{12,92}{48} = 0,27$$

$$\alpha = 15^\circ$$

b

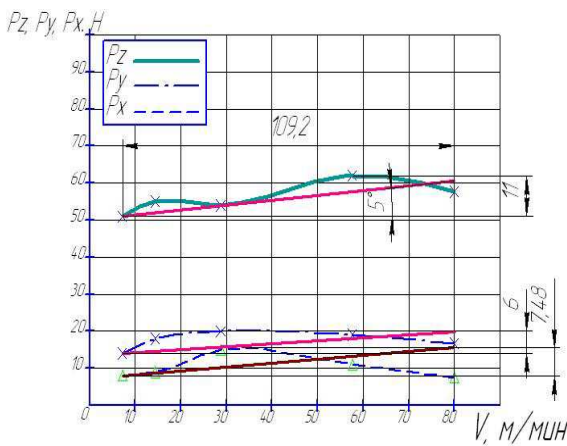
Рис. 7. График зависимости: а – касательной составляющей силы резания  $P_z, P_y, P_x$  от подачи  $S$  при точении; б – касательной составляющей температуры резания от подачи  $S$  при точении



$$n_2 = \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{65}{68,11} = 0,95$$

$$\alpha = 44^\circ$$

a



$$\operatorname{tg} \alpha_{Pz} = \frac{11}{109,2} = 0,1$$

$$\alpha = 5^\circ$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{Py} = \frac{6}{109,2} = -0,05$$

$$\alpha = 3$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{Px} = \frac{7,48}{109,2} = 0,06$$

$$\alpha = 4^\circ$$

b

Рис. 8. График зависимости: а – касательной составляющей температуры резания от скорости резания  $V$ ; б – касательной составляющей силы резания  $P_z, P_y, P_x$  от скорости резания  $V$

Расчет касательной составляющей силы резания производится по формуле

$$P_{Z,Y,X} = \langle C_{P_{Z,Y,X}} \rangle_{\text{общ}} \cdot t^{X_{P_{Z,Y,X}}} \cdot S^{Y_{P_{Z,Y,X}}} \cdot V^{Z_{P_{Z,Y,X}}}$$

$$P_z = 52 \cdot 2^{0,93} \cdot 1,04^{0,88} \cdot 187,5^{-0,036} = 52 \cdot 1,9 \cdot 1,03 \cdot 0,82 = 83,4 \text{ Н.}$$

$$P_Y = 15,9 \cdot 2^{0,65} \cdot 1,04^{0,24} \cdot 187,5^{-0,016} = 15,9 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 0,91 = 21,7 \text{ Н.}$$

$$P_X = 14,25 \cdot 2^{0,4} \cdot 1,04^{0,29} \cdot 187,5^{-0,018} = 14,25 \cdot 1,3 \cdot 1,01 \cdot 0,91 = 17 \text{ Н.}$$

Зависимость температуры резания от скорости резания:

$$T = C_1 V^{Z_T},$$

$$T = 21,9 \cdot 37,75^{0,55} = 161,3 \text{ }^\circ\text{C},$$

где  $T$  – температура резания,  $^\circ\text{C}$ ;

$C_1$  – коэффициент, зависящий от условий обработки (обрабатываемого материала, глубины резания, подачи, геометрических элементов режущей части резца, смазочно-охлаждающей жидкости);

$Z_T$  – показатель степени, характеризующий интенсивность прироста температуры с увеличением скорости резания. В зависимости от свойств обрабатываемого материала и вида обработки  $Z_T = 0,26\text{--}0,72$ .

Зависимость температуры резания от подачи:

$$T = C_2 \cdot S^{Y_T},$$

$$T = 21,9 \cdot 0,74^{0,62} = 18,1 \text{ }^\circ\text{C},$$

где  $C_2$  – коэффициент, зависящий от условий обработки;

$Y_T$  – показатель степени, характеризующий интенсивность прироста температуры с увеличением подачи. При точении сталей  $Y_T = 0,20\text{--}0,45$ .

Зависимость температуры резания от глубины резания:

$$T = C_3 \cdot t^{X_T}$$

$$T = 21,9 \cdot 2^{0,22} = 25,4 \text{ }^\circ\text{C},$$

где  $C_3$  – коэффициент, зависящий от условий обработки;

$X_T$  – показатель степени, характеризующий интенсивность прироста температуры с увеличением глубины резания,  $X_T = 0,03\text{--}0,10$ .

На основании результатов сделаем следующие выводы, касающиеся сил резания:

– при увеличении глубины резания  $t$  соответственно увеличивается площадь срезаемого слоя ( $f = t \cdot S_0$ ) и объем деформируемого материала, при увеличении подачи также увеличивается площадь срезаемого слоя, аппроксимированная зависимость представлена на рис. 7, а;

– замедление роста  $P_Z, P_Y, P_X$  при увеличении подачи объясняется тем, что при увеличении подачи соответственно увеличивается толщина среза;

– известно, что с увеличением толщины среза уменьшается деформация в зоне резания, о чем свидетельствует снижение коэффициента укорочения  $K_\ell$  (см. рис. 7, а). Это и приводит к замедлению роста  $P_Z, P_Y, P_X$ .

Выводы, касающиеся температуры резания:

– с ростом скорости резания увеличивается количество выделяющейся теплоты. При этом возрастает и температура резания, так как условия теплоотвода остаются практически неизменными. Однако прирост температуры отстает от увеличения скорости резания (рис. 8, *а*).

– с увеличением подачи возрастает составляющая силы резания  $P_z$  и, следовательно, количество выделяющейся теплоты. Но составляющая силы резания  $P_z$  возрастает в меньшей степени, чем увеличивается подача, и поэтому прирост тепла отстает от роста подачи. При этом центр давления стружки на резец отдалеется от режущей кромки и увеличивается площадь соприкосновения стружки с резцом (рис. 7, *б*), поэтому улучшаются условия теплоотвода;

– экспериментальные данные, полученные на сконструированном стенде компьютерной диагностики с использованием АЦП, подтверждаются как теоретическими, так и расчетными методами определения сил и температуры резания.

Получено 20.05.2010