

УДК 681.5.09

А.С. Кулик, д-р техн. наук, В.В. Нарожный, канд. техн. наук, А.В. Сальников, асп.,  
С.Н. Фирсов, инж.

**МОДИФИЦИРОВАННАЯ ПОЗИЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АКТИВНОЙ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ**

**Введение**

В быстро меняющемся индустриальном мире задача технического и технологического перевооружения предприятий, разрабатывающих и производящих сложные технические изделия, является одной из наиболее актуальных. Качество и сокращение сроков производства продукции обеспечивается, в частности, использованием для ее производства отказоустойчивого оборудования и инструмента.

Следует выделить, что процесс совершенствования функциональных возможностей техники неизбежно связан с повышением ее надежности, живучести и безопасности. Тенденции роста убытков, связанных с отказом техники, наблюдается как в Украине, так и в других странах [1, 2, 3].

Для украинских предприятий, обладающих широким парком станочного оборудования с ЧПУ, но не имеющих финансовых возможностей его постоянного обновления, необходимо избрать путь модернизации и модификации.

Одним из перспективных направлений построения отказоустойчивых систем, в частности позиционных систем управления перемещением (ПСУП) станков с ЧПУ (сверлильных, дыропробивных и т.п.) является системный подход к обеспечению активной отказоустойчивости систем управления, предложенный профессором Куликом А.С. [4], включающий в себя глубокое диагностирование и гибкое восстановление работоспособности.

В процессе диагностирования ПСУП решается ряд взаимосвязанных задач: обнаружение отказов, поиск места отказа, установление класса отказа, определение вида отказа.

Вид отказа - это описание конкретного физического проявления отказа (ДСТУ 2860-94). Анализируя выбранное множество видов отказов, проводится их параметризация и формируются классы. Класс - это подмножество видов отказов, проявляющих себя идентично на доступных измерениях.

**Обобщенная конструкция позиционной системы управления перемещением**

Для обеспечения требуемой глубины диагностирования рассмотрена структура ПСУП (рис. 1). В состав такой системы входят:

- интерполятор стойки ЧПУ, вырабатывающий информацию о движении рабочего органа между двумя опорными точками на основании заложенной программы;
- усилитель мощности для каждой координаты, с которого подается напряжения на электродви-

гатель согласно выработанной интерполятором информации;

- редуктор (пара «винт-гайка») для каждой координаты, осуществляющий преобразование вращательного движения ротора электродвигателя в поступательное движение рабочего органа;

- датчик положения для каждой координаты (датчик угловой скорости с интегратором), производящий косвенное измерение положения рабочего органа;

- рабочий орган (стол) – объект управления, отрабатывающий линейные перемещения по двум координатам согласно заложенной программе.

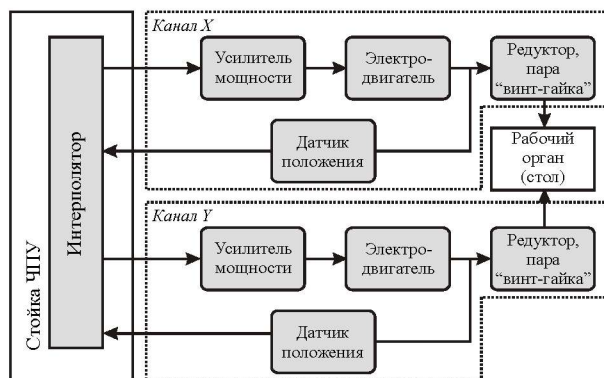


Рис.1. Обобщенная структурная схема ПСУП

При отсутствии отказов рассматриваемая система представима с помощью следующей функциональной схемы (рис. 2),

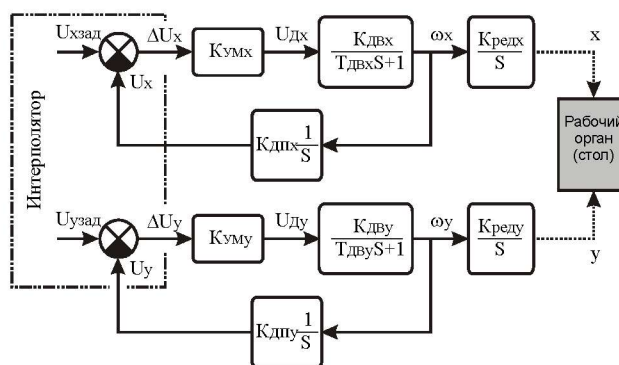


Рис.2. Обобщенная функциональная схема ПСУП

где  $U_{Дx}$ ,  $U_{Дy}$  – напряжения, подаваемые на электродвигатели;

$\omega_x, \omega_y$  – угловые скорости вращения роторов электродвигателей;

$\varphi_x, \varphi_y$  – углы поворота роторов двигателей (величины перемещения ходового винта);

$x, y$  – величины перемещения рабочего органа (стола);

$U_x, U_y$  – значения напряжений, соответствующие текущим значениям величин перемещения рабочего органа  $x, y$ ;

$U_{xзад}, U_{yзад}$  – значения напряжений, соответствующие заданным величинам перемещения;

$\Delta U_x = U_{xзад} - U_x, \Delta U_y = U_{yзад} - U_y$  – отклонения значений напряжений величин перемещения;

$K_{УМx}, K_{УМy}, K_{ДВx}, K_{ДВy}, K_{Дпx}, K_{Дпy}, K_{редx}, K_{редy}$  – коэффициенты передачи усилителей мощности, электродвигателей, датчиков положения, редукторов по соответствующим координатам;

$T_{ДВx}, T_{ДВy}$  – постоянные времени электродвигателей;

$S$  – комплексная переменная преобразования Лапласа.

Для оценки динамических свойств представленной системы управления по двум координатам, ее поведение описывается передаточными функциями вида:

$$W_x(S) = \frac{K_{УДx} \cdot K_{редx}}{K_{УДx} \cdot K_{Дпx} + S(T_{ДВx} \cdot S + 1)}, \quad (1)$$

$$W_y(S) = \frac{K_{УДy} \cdot K_{редy}}{K_{УДy} \cdot K_{Дпy} + S(T_{ДВy} \cdot S + 1)}, \quad (2)$$

где  $K_{УДx} = K_{УМx} \cdot K_{ДВx}$  – коэффициент передачи блока УМ+ЭД канала  $X$ ;

$K_{УДy} = K_{УМy} \cdot K_{ДВy}$  – коэффициент передачи блока УМ+ЭД канала  $Y$ .

Диагностируемость системы управления зависит от свойств структуры, т.е. способа соединения функциональных элементов и путей распространения информации об отказах, а также от сигнальных свойств, т.е. информационного объема измеряемых сигналов, вызванных соответствующими управляющими воздействиями [8].

Рассматриваемая ПСУП является разомкнутой системой управления (отсутствует обратная связь по положению рабочего органа), следовательно такая система управления в общем случае недиагностируема, поскольку косвенные признаки отказов ненаблюдаемы.

Для обеспечения диагностируемости рассматриваемой ПСУП предлагается ввести дополнительную структурную избыточность.

### Обобщенная конструкция модифицированной позиционной системы управления перемещением

Обобщенная структурная схема модифицированной ПСУП представлена на рис.3.

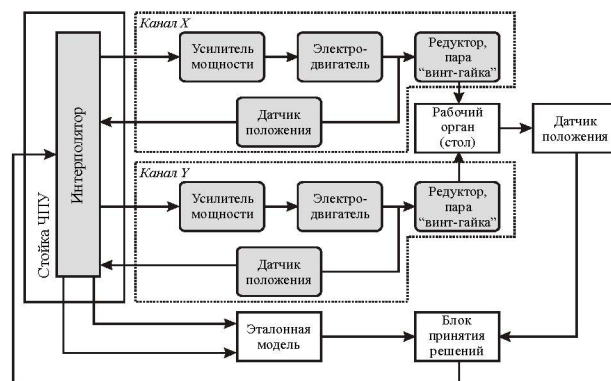


Рис.3. Обобщенная структурная схема модифицированной ПСУП

При отсутствии отказов рассматриваемая система представима с помощью следующей функциональной схемы (рис. 4).

Информационный сигнал  $U_p$ , соответствующий текущему положению рабочего органа, полученный при помощи датчика положения поступает в блок принятия решений. Сюда же поступает информационный сигнал  $U_{p0}$  с эталонной модели, вырабатываемый на основе математической модели (ММ) функционирования ПСУП в работоспособном состоянии, соответствующий положению рабочего органа, заложенному в программе.

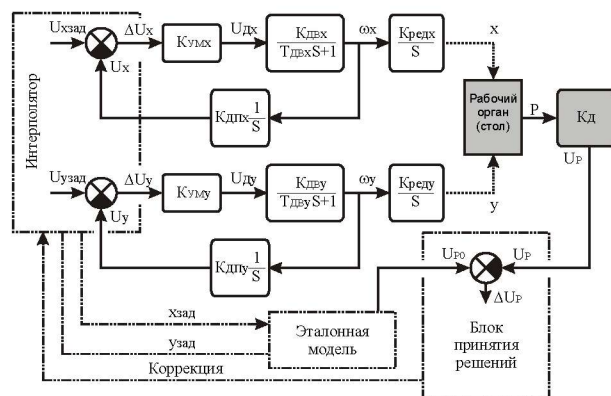


Рис.4. Обобщенная функциональная схема модифицированной ПСУП

В блоке принятия решений вырабатывается разность значений информационных сигналов  $\Delta U_p = U_{p0} - U_p$ , на основании которой и принимается решение о наличии отказа, месте возникновения, классе и виде отказа, а также вырабатывается информация о необходимой коррекции управляющей программы.

Используя [6, 7], соотношения (1), (2) и метод Эйлера для получения численного значения производной, проведен переход к описанию модифицированной ПСУП в пространстве состояний в дискретной форме:

$$\begin{bmatrix} x_1(n+1) \\ x_2(n+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{T_0}{T_{ДВx}} \\ -K_{yДx} \cdot K_{онx} \cdot \frac{T_0}{T_{ДВx}} & 1 - \frac{T_0}{T_{ДВx}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1(n) \\ x_2(n) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ K_{yДx} \cdot K_{редx} \cdot \frac{T_0}{T_{ДВx}} \end{bmatrix} \cdot U_{xзад}(n), \quad (3)$$

$$U_{Px}(n) = [K_{\partial} \quad 0] \cdot \begin{bmatrix} x_1(n) \\ x_2(n) \end{bmatrix},$$

$$x_1(0) = 0, \quad x_2(0) = 0,$$

$$\begin{bmatrix} y_1(n+1) \\ y_2(n+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{T_0}{T_{ДВy}} \\ -K_{yДy} \cdot K_{онy} \cdot \frac{T_0}{T_{ДВy}} & 1 - \frac{T_0}{T_{ДВy}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_1(n) \\ y_2(n) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ K_{yДy} \cdot K_{редy} \cdot \frac{T_0}{T_{ДВy}} \end{bmatrix} \cdot U_{yзад}(n), \quad (4)$$

$$U_{Py}(n) = [K_{\partial} \quad 0] \cdot \begin{bmatrix} y_1(n) \\ y_2(n) \end{bmatrix},$$

$$y_1(0) = 0, \quad y_2(0) = 0,$$

где  $T_0$  – период квантования;

$n$  – шаг квантования.

Для построения ММ функционирования модифицированной ПСУП в неработоспособном состоянии необходимо сформировать множество видов отказов исходя из целей исследования и опыта эксплуатации.

Поскольку каналы  $X$  и  $Y$  в рассматриваемой системе идентичные, то проводятся построения только для одного из каналов, например, канала  $X$ .

Использован ряд гипотез, которые сформированы в результате анализа реального потока видов отказов, происходящих в ПСУП:

— виды отказов появляются независимо друг от друга;

— характеристики видов отказов существенно не изменяются на интервале диагностирования;

— в период диагностирования другие отказы не происходят.

Сформировано множество видов отказов  $D_{ПСУПx} = \{d_{ix}\}$  для канала  $X$  модифицированной ПСУП:

а)  $d_{1x}, d_{2x}$  – соответственно увеличение и уменьшение коэффициента передачи блока УМ+ЭД канала  $X$  – невыход рабочего органа в заданную точку;

б)  $d_{3x}, d_{4x}$  – соответственно увеличение и уменьшение сопротивления якорной цепи электродвигателя привода канала  $X$ ;

в)  $d_{5x}$  – переориентация датчика угловой скорости в датчике положения в канале  $X$ ;

г)  $d_{6x}$  – обрыв сигнального провода датчика положения в канале  $X$ ;

д)  $d_{7x}, d_{8x}$  – соответственно положительная и отрицательная круговая деформация ходового винта редуктора привода канала – линейное смещение траектории обработки в системе координат;

е)  $d_{9x}$  – люфт ходового винта редуктора привода канала – нелинейное изменение траектории обработки в системе координат.

Проведена параметризация видов отказов и сформировано множество классов отказов  $A_{ПСУПx} = \{\alpha_{ix}\}$  для канала  $X$ :

а) «изменение коэффициента передачи блока УМ+ЭД канала  $X$ » (виды отказов  $d_{1x}, d_{2x}$ ) – характеризуется изменением коэффициента передачи  $K_{yДx}$

на величину  $\Delta K_{yДx}$ ;

б) «изменение инерционных свойств ЭД канала  $X$ » (виды отказов  $d_{3x}, d_{4x}$ ) – характеризуется изменением постоянной времени электродвигателя  $T_{ДВx}$  на величину  $\Delta T_{ДВx}$ ;

в) «изменение коэффициента передачи ДП канала  $X$ » (виды отказов  $d_{5x}, d_{6x}$ ) – характеризуется изменением коэффициента передачи  $K_{онx}$  на величину  $\Delta K_{онx}$ ;

г) «механический износ канала  $X$ » (виды отказов  $d_{7x}, d_{8x}, d_{9x}$ ) – характеризуется изменением коэффициента передачи  $K_{редx}$  на величину  $\Delta K_{редx}$ .

Сформировав классы видов отказов  $A_{ПСУПx} = \{\alpha_{ix}\}$  выполнен переход от (3) к описанию канала  $X$  ПСУП в пространстве состояний в дискретной форме в неработоспособном состоянии:

$$\begin{bmatrix} \tilde{x}_1(n+1) \\ \tilde{x}_2(n+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{T_0}{\tilde{T}_{ДВx}} \\ -\tilde{K}_{yДx} \cdot \tilde{K}_{онx} \cdot \frac{T_0}{\tilde{T}_{ДВx}} & 1 - \frac{T_0}{\tilde{T}_{ДВx}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{x}_1(n) \\ \tilde{x}_2(n) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \tilde{K}_{yДx} \cdot \tilde{K}_{редx} \cdot \frac{T_0}{\tilde{T}_{ДВx}} \end{bmatrix} \cdot U_{xзад}(n), \quad (5)$$

$$\tilde{U}_P(n) = \tilde{U}_{Px}(n) = [K_{\partial} \quad 0] \cdot \begin{bmatrix} \tilde{x}_1(n) \\ \tilde{x}_2(n) \end{bmatrix},$$

$$\tilde{x}_1(0) = 0, \quad \tilde{x}_2(0) = 0,$$

где  $\tilde{K}_{yДx} = K_{yДx} + \Delta K_{yДx}$  – значение коэффициента передачи блока УМ+ЭД канала  $X$  с учетом прямого признака видов отказов из класса «изменение коэффициента передачи блока УМ+ЭД канала  $X$ »;

$\tilde{T}_{ДВx} = T_{ДВx} + \Delta T_{ДВx}$  – постоянной времени электродвигателя канала  $X$  с учетом прямого признака

ка видов отказов из класса «изменение инерционных свойств ЭД канала  $X$ »;

$$\tilde{K}_{\partial n_x} = K_{\partial n_x} + \Delta K_{\partial n_x} - \text{значение коэффициента}$$

передачи датчика положения канала  $X$  с учетом прямого признака видов отказов из класса «изменение коэффициента передачи ДП канала  $X$ »;

$$\tilde{K}_{редx} = K_{редx} + \Delta K_{редx} - \text{значение коэффициента}$$

передачи редуктора канала  $X$  с учетом прямого признака видов отказов из класса «механический износ канала  $X$ ».

В силу идентичности каналов  $X$  и  $Y$  модифицированной ПСУП, все вышеприведенные для канала  $X$  рассмотрения справедливы и для канала  $Y$ .

### Заключение

В результате проведенных исследований представлено описание модифицированной позиционной системы управления перемещением в пространстве состояний в дискретной форме в работоспособном состоянии.

Предложена модифицированная ПСУП, в которой для обеспечения диагностируемости введена дополнительная структурная избыточность.

Определено множество видов отказов на основе анализа надежностных характеристик, опыта эксплуатации, вероятности возникновения отказов по оценкам экспертов.

Проведена параметризация множества видов отказов и сформированы классы видов отказов, что позволило описать модифицированную позиционную систему управления перемещением в пространстве состояний в дискретной форме в работоспособном состоянии.

Полученные модели функционирования модифицированной ПСУП в работоспособном и неработоспособном состоянии в дальнейшем предполагается использовать при построении диагностического обеспечения модифицированной позиционной системы управления перемещением.

### Список литературы:

1. Проблемы технического перевооружения промышленных предприятий // Мир техники и технологий. – 2002. – № 4. – С. 8.
2. Бурдюк А.П. Ремонт и модернизация систем ЧПУ // Мир техники и технологий. – 2002. – №2. – С. 22.
3. Кулик А.С., Нарожный В.В., Сальников А.В. Состояние и перспективы обеспечения активной отказоустойчивости станков с ЧПУ в период их модификации // Авиационно-космическая техника и технология: Сб. науч. тр. – Харьков: ХАИ, 2002. – Вып. 32. – С. 97 – 101.
4. Кулик А.С. Сигнально-параметрическая диагностика систем управления. – Харьков: Гос. аэрокосмический ун-т «ХАИ»; Бизнес Информ, 2000. – 260 с.
5. Кулик А.С. Автоматизация диагностирования систем управления летательных аппаратов. – Харьков: ХАИ, 1994. – 61 с.
6. Андреев Ю.Н. Управление конечномерными линейными объектами. – М.: Наука, 1976. – 424 с.
7. Мироновский Л.А. Аналоговые и гибридные модели динамических систем. – Л.: ЛИАП, 1985. – 115 с.
8. Кулик А.С. Обеспечение отказоустойчивости систем управления: Учеб. пособие. – Харьков: Харьк. авиац. ин-т., 1991. – 90 с.
9. Алгоритмическое обеспечение отказоустойчивости систем автоматического управления – обзор / В.М. Глумов, С.Д. Земляков, В.Ю. Рутковский, А.В. Силаев // Автоматика и телемеханика. – 1988. – № 9. – С. 3 – 33.

УДК.621.923.9

С.Н. Нижник, инж., В.И. Куципак, инж., В.А. Матюхин, инж., О.В. Покатов, инж., В.Н. Фандеев, инж.

## СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОМ ПОЛИРОВАНИИ ПЛОСКОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ И ВЛИЯНИЕ НА НИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

### Введение

Магнитно-абразивная обработка (МАО) представляет собой процесс обработки деталей в среде магнитно-абразивного порошка, удерживаемого силами магнитного поля в рабочей зоне. Магнитно-абразивный материал располагается между полюсами электромагнитов, создавая режущий инструмент,

плотностью которого можно варьировать в широких пределах, изменяя напряженность магнитного поля в зазорах.

### Формулирование проблемы

Удаление припуска при МАП осуществляется