© И.Н. Миков, Н.С. Стефанова,
Г.Х. Магомедов, 2005

УДК 679.8

И.Н. Миков, Н.С. Стефанова, Г.Х. Магомедов

АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ РАБОЧЕГО И ОБРАТНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ЯКОРЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Семинар № 18

Изображение, имеющее распределённую по поверхности оптическую плотность, вводится посредством сканера в память компьютера. Далее этот массив построчно передаётся через порт компьютера в память программируемого контроллера. В контроллере программно организован генератор, формирующий управляющую импульсную последовательность с амплитудной и частотной модуляциями по пикселю видеосигнала [1, стр. 312, рис. 7.1], где U_m, T - амплитудное значение и период следования импульсов на выходе генератора. Далее, управляющая импульсная последовательность поступает на катушки электромеханического преобразователя, который своим долбёжным инструментом наносит на полированную поверхность материала лунки, площадь которых расположена внутри площади растрового элемента.

На рис. 1 показана траектория движения якоря при импульсном силовом воздействии. Переходная характеристика колебательного звена (для нашего случая – это рабочие перемещения «вынужденные колебания»), которым является якорь с долбёжным инструментом и пружинной подвеской, по оси t может быть представлена тремя участками: 1. участок при $t = 0…T$ с крутым передним фронтом, 2. участок при $t = T…2T$ со средним по крутизне передним фронтом, 3. участок при $t = 2T…3T$ с пологим по крутизне передним фронтом. Долбяк с якорем ЭМП (с массой $m_я$ под действием силы $F_{эм}$ разгоняется вдоль зазора $\Delta_н$ и приобретает расчётную скорость $V_я$ и расчётную, в момент удара, кинетическую энергию $W_к = m_я \cdot V^2/2$, которая и обеспечивает внедрение острия на глубину $\Delta h_я$ от поверхности материала.

Создание расчётной скорости реализуется вариацией трёх параметров: электромагнитной силой $F_{эм}$, времени действия силы $\tau_{пр}$ и технологическим зазором $\Delta_н$.Время действия силы $\tau_{пр}$ должно чётко соответствовать времени прохождения долбяком зазора $\Delta_н$, а окончание действия силы - моменту удара. При раннем исчезновении силы (до момента удара) долбяк начнёт терять энергию, а при позднем (после момента удара, при том же технологическом зазоре $\Delta_н$) – материал будет скрабироваться остриём долбяка.

При обратном ходе якоря (свободные колебания – за счёт пружины) можно записать

$c \cdot x \approx m \cdot a$, где $x = \Delta_н + \Delta h_д$.,

где ускорение якоря $a = \Delta_н./ \tau^2_{обр}$, или - $c \cdot \Delta_н = m \cdot \Delta_н./ \tau^2_{обр}$, $\tau_{обр}$ – время обратного хода якоря.

Отсюда $\tau_{обр} = - \sqrt{m / c}$, не зависит от величины отклонения (в пределах линейности).

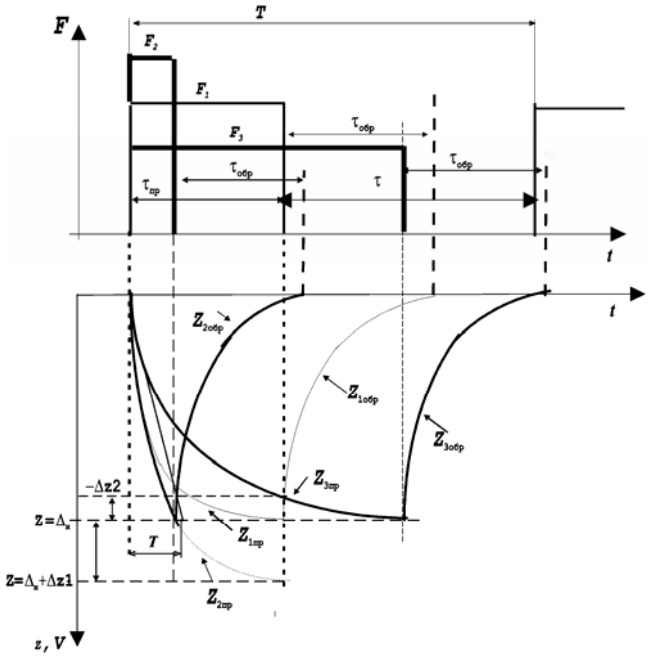


Рис. 1 Траектория движения якоря при импульсном силовом воздействии

щение якоря с долбяком вдоль оси *z*.

Под действием силы $F_{1\ эм}$ за время $\tau_{пр\ 1}$ долбяк проходит путь $Z_{1пр} = \Delta_н$ (точка 1), развивает скорость $V_{1пр}$ (угол α_1) и имеет в конце пути кинетическую энергию $W_{к1}$..Обратное движение долбяка проходит в режиме свободных колебаний за время $\tau_{обр} = -\sqrt{m / c}$ по линии $Z_{1обр}$ и эта величина не зависит от отклонения *z* (точка 2).

Увеличение кинетической энергии в этом случае возможно следующим образом.

1. Увеличение амплитуды импульсного усилия $F_{2-1\ эм} > F_{1\ эм}$ приводит к более крутому нарастанию перемещения (точка 3) за время $\tau_{пр\ 2} < \tau_{пр\ 1}$, что соответствует скорости $V_{2-1пр}$ (угол α_2 и увеличенной энергии $W_к$). При этом используются участки характеристики 1 и 2. Участок 3 исключён ограничением длительности импульса (задний фронт $\tau_{пр\ 2}$).

2. Для получения ещё большей энергии $W_к$ (точка 4, скорость $V_{2-2пр}$, угол α_3) необходимо ещё больше увеличить амплитуду импульса силы $F_{2-2\ эм} > F_{2-1\ эм}$ при той же длительности импульса и увеличить путь долбяка (сделать технологический зазор $z = \Delta_н + \Delta z$). В этом случае также используются участки характеристи-

На рис. 2 представлены рассматриваемые характеристики $F_{эм} = f(t)$, $z = f(t)$. Где $F_{эм}$ - импульсная сила в ЭМП, *z* - переме-

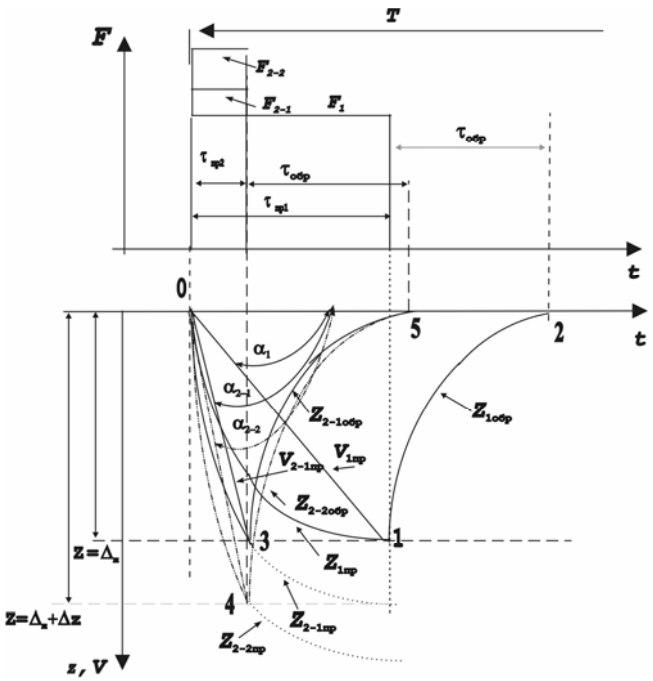


Рис. 2. Характеристики усилия, приложенного к якорю F = f(t) и перемещения якоря z = f(t)

ки 1 и 2.

Возврат долбяка осуществляется пружиной по линиям $Z'_{2\text{-}1\ обр}$ или $Z'_{2\text{-}2\ обр}$ в ту же самую точку 5.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Обратный ход долбяка требует временного промежутка $\tau_{обр}$. При формировании импульсной последовательности с периодом T это необходимо учитывать, в противном случае якорь ЭМП начнёт «проседать». Это приведёт к искажениям величины кинетической энергии.

2. Управляющие импульсы характеризуются амплитудой $F'_{эм\text{-}N}$ и длительностью $\tau_{пр\ N}$. Эти параметры переменны и определяются величиной требуемой кинетической энергии $W_к$.

Рис. 3. Переходные характеристики колебательного звена $h_{гя}(t)$ (якоря с долбяком и сильфонной подвеской) для электтромеханического преобразователя $\omega_0 = 447$ рад/сек, $c = 10^{+3}$ кГ / м, $m_я = 5\ 10^{-3}$ кГ с^2 / м

3. Технологический зазор $z = \Delta_н + \Delta z$ в процессе работы должен быть так же переменен. Его величина должна быть конечной и определяется тем, что долбяк должен разогнаться до скорости $V_{Nпр}$. Меньшая величина зазора приведёт к тому, что долбяк упрётся в материал раньше времени, не достигнув расчётной скорости, а большая – при уже окончившимся импульсе силы $F_{эм\text{-}N}$ долбяк, продвигаясь далее по зазору, начнёт тормозиться пружиной и терять скорость (и, соответственно, энергию).

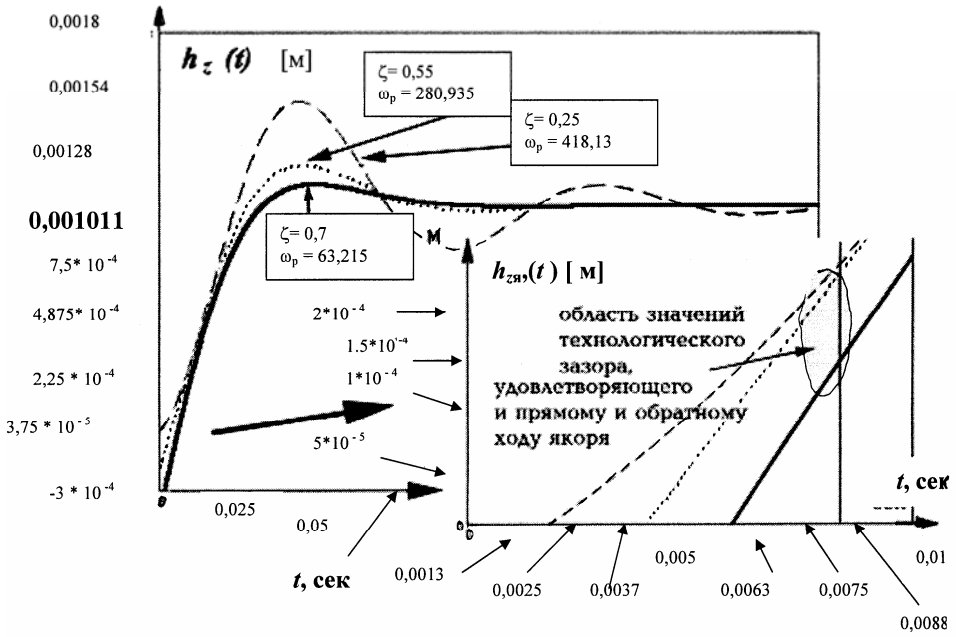
Как уже отмечалось, для однокатушечного преобразователя движение якоря вниз (прямой ход) происходит под действием электромагнитной силы $F_{эм}$ (т.е. вынужденные колебания, создающие необходимую энергии удара), а движение якоря вверх (обратный ход, возврат) происходит под действием силы пружины $F_{пр}$, т.е. свободные колебания.

В [2, с. 413] представлено выражение, определяющее необходимую скорость якоря для создания заданной энергии удара:

$V_{я\ max}{}^2 = \{ Q_2 + Q_3 \} / 0{,}495\ m_я$,.

$V_{я\ min}{}^2 = \{ Q_2 \} / 0{,}495\ m_я$,

где Q_2 и Q_3 – необходимые энергии удара



на 2-м и 3-м технологических этапах [3].

Для нашего случая $V_{я\ max} = 21 \cdot 10^{-2}$ [м/с], $V_{я\ min} = 2{,}96 \cdot 10^{-2}$ [м/с]. Отсюда время прямого хода при прохождения зазора $\Delta_н$ (время разгона якоря при максимальном электромагнитном усилии) для равноускоренного движения $t_{\text{прямого хода, F = 0,725 кГ}} = v_я / a_я$, т.е.

$t_{\text{прямого хода,min}} = V_{я\ max}/a_{я\ max} = 0{,}14 \cdot 10^{-2}$ с, то же при минимальном усилии

$t_{\text{прямого хода, } F = 0{,}00725\ кГ\ max} = V_{я\ min}/ a_{я\ min} = = 0{,}0204 \cdot 10^{-2}$ с.

При частоте растрирования $f_{растр} = =100$ Гц период следования импульсов $T = 1 \cdot 10^{-2}$ сек и для времени обратного хода остаётся $t_{\text{обратногоо хода}} = T - t_{\text{прямого хода, min}} = 0{,}86 \cdot 10^{-2}$ с.

С учётом частотных характеристик колебательного звена якоря с подвеской по рис. 3 для разных значений ς и для $t_{\text{обратного хода}} = 0{,}86 * 10^{-2}$ с определится область требуемого технологического зазора

$\Delta_{н\ \text{обратного хода}} \approx 015 \ldots 0{,}2$ мм

для $t_{\text{обратного хода}} = 0{,}86 * 10^{-2}$ с.

Далее, оценим требуемый технологический зазор для прямого хода:

$\Delta_{н\ \text{прямого хода min}} = V_{я\ max} \cdot t_{\text{прямого хода min}}/2 = = 21 \cdot 10^{-2} \cdot 14{,}4 \cdot 10^{-4} /2 = 0{,}151 \cdot 10^{-3}$ [м] = 0,151 мм, или

$\Delta_{н\ \text{прямого хода max}} = V_{я\ min} \cdot t_{\text{прямого хода max}}/2 = = 2{,}96 \cdot 10^{-2} \cdot 0{,}0204 \cdot 10^{-2}/2 =$

$= 0{,}301 * 10^{-3}$ [м] = 0,301 ммф

С учётом ранее сформированного ограничения ($\Delta_н < (1/4)\ \delta_0$) принимаем $\Delta_н =$ 0,15 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Миков И.Н.* Развитие теории, разработка технологии растрового динамического копирования изображений и создание гравировальных станков с ЧПУ, Диссертации на соискание ученой степени д.т.н. – М.: ОАО «ЭНИМС», 2004.

2. *Справочник* Машиностроителя, т.1. – М.: Машиностроение, 1960.

3. *Миков И.Н., Морозов В.И.* Станочная компьютерная технология гравировки минералов. М.: Горные машины и автоматика, № 11, 2001.

Коротко об авторах

Миков И.Н. – доктор технических наук, ст. научный сотрудник, заведующий лабораторией, кафедра «Технология художественной обработки материалов», Московский государственный горный университет,

Стефанова Н.С. – инженер, научный сотрудник Софийского горного геологического университета,

Магомедов Г.Х. – инженер, ст. преподаватель Дагестанского государственного технического университета.