

яркость источника света и могут вызвать раздражение, дискомфорт или потерю визуальных характеристик и полное ослепление. Последний эффект крайне опасен, ибо водители на короткое время полностью теряют способность видеть, что может привести к смертельным ДТП. Поэтому именно блики света считаются наиболее опасным аспектом светового загрязнения проезжей части [1, с. 10].

Наконец, засвечивание неба в городах – это результат рассеяния в атмосфере искусственного света, застилающего естественный фон ночного неба. Этот эффект чрезвычайно вреден для астрономов, а также негативно влияет на нервную систему обычных людей [1, с. 11].

Заключение. Несмотря на все описанные негативные эффекты, мы не можем отказаться от ночного дорожного освещения в целях безопасности. Чтобы снизить воздействие светового загрязнения, можно предложить ряд решений. Внедрение интеллектуальной системы управления искусственным освещением поможет снизить не только воздействие на окружающую среду, но и энергопотребление. Данная система учитывает и внешние факторы: географическая зона, время года, естественная освещенность. Другое решение – энергосберегающая система управления. Смысл системы состоит в создании на объекте освещения временных динамически изменяющихся зон с разным уровнем освещенности.

Список литературы

1. Shaflik C. Light pollution. Environmental effects of roadway lighting // University of British Columbia. Department of Civil Engineering. 1995. [Электронный ресурс]. URL: <http://shaflik.com/documents/LIGHT%20POLLUTION%20TECHNICAL%20PAPER.pdf> (дата обращения: 7.02.2021).
2. Трофименко Ю.В., Сова А.Н., Буренин В.В., Галышев А.Б. О необходимости развития велосипедного транспорта в крупных городах России // Автомобильный транспорт. 2014. № 3. С. 70-74.
3. Бармасов А.В., Бармасова А.М., Яковлева Т.Ю. Биосфера и физические факторы. Световое загрязнение окружающей среды // Ученые записки Российского Государственного Гидрометеорологического Университета. 2014. Вып. 33. С. 84-101.
4. Мертенс Я.Р., Цикота В.В. Влияние искусственного освещения на фотосинтез и фотоморфогенез растений // Аспирант. 2015. № 4(9). С. 175-176.
5. Федосова М.Д. Исследование влияния искусственного освещения на почвенных червей // Проблемы современной науки и образования. 2017. № 5(87). С. 37-39.
6. Букалёв А.В., Виноградова И.А., Забежинский М.А., Семенченко А.В., Анисимов В.Н. Световое загрязнение увеличивает заболеваемость и смертность от разных причин у самок крыс // Успехи геронтологии. 2012. Т. 25. № 1. С. 49-56.

ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРИВОДА ПОДАЧИ НА ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СКОРОСТИ ПОДАЧИ В СИЛЫ РЕЗАНИЯ

Волков В.В.

*Донской государственный технический
университет, Ростов-на-Дону,
e-mail: vadim97volkov@yandex.ru*

При построении систем управления процессами обработки на металлорежущих станках,

одно из перспективных направлений связано с управлением упругими деформационными смещениями режущего инструмента относительно обрабатываемой детали. При этом необходимо учитывать жесткость механической части приводов суппортов, которая оказывает влияние на динамику преобразования скорости подачи в силы резания, зависящие от величины подачи на оборот. В статье приводится математическое моделирование этого преобразования и результаты исследования динамики на цифровых моделях.

Для развития нашей идеи, о влиянии жесткости механической части привода на силы резания и в конечном счете на возможность управления процессом обработки, мы обратимся к системному синергетическому подходу для анализа сложных динамических систем [1-6], который можно рассматривать как развитие представлений о свойствах управляемого процесса обработки [7-12]. Так же, имеющиеся работы [13-15] показывают, что траектории исполнительных элементов станка зависят не только от управления и свойств приводов исполнительных элементов, но и от динамической связи, которая характеризует зависимость формируемых в зоне резания сил, от траекторий исполнительных элементов, а также от их упругих деформационных смещений, вызванных переменной жесткостью детали. Чтобы проанализировать это, необходимо знать преобразование скорости подачи в силы резания, от которых зависят упругие деформации. Ранее показано [13-15], что силы резания пропорциональны величине площади срезаемого слоя, который в свою очередь зависит от глубины и величины подачи, поэтому представляет интерес выяснение закона преобразования скорости подачи в силы резания. В статье на основе предложенных моделей динамики в работах [13-15], рассмотрены случаи, когда глубина резания остается неизменной, тогда силы пропорциональны величине подачи, а величина подачи связана со скоростью интегральным оператором, осуществляющим интегрирование скорости подачи в течение одного оборота детали.

Математическое моделирование. В отличие от известных работ, мы будем полагать, что жесткость механической части привода ограничена, и рассмотрим преобразование скорости подачи в силы с учетом упругих деформаций (рис. 1).

При обеспечении требуемой точности изготовления детали с учетом упругих деформаций необходимо согласовать траектории исполнительных элементов станка с изменяющейся жесткостью заготовки вдоль траектории движения инструмента, а также вариациями свойств процесса резания, обусловленными, например, изнашиванием. Тогда задача управления сводится к определению такой траектории скорости подачи, при которой деформации инструмента относительно заготовки будут постоянными. При решении этой проблемы учтем дополни-

тельно жесткость « c_0 » механической части привода подачи (рис. 1). Примем во внимание следующие гипотезы, согласованные с известными представлениями о динамических свойствах процесса резания [1-6].

1) Приводы вращения шпинделя и перемещения суппорта взаимодействуют через динамическую связь, формируемую процессом резания (рис. 1).

2) Динамическая связь представляется модель сил резания, зависящих от технологических режимов: скорости резания V_p , подачи S_p и глубины t_p . При этом модуль силы пропорционален площади срезаемого слоя, то есть $F_0 = \rho S$ (здесь: ρ – давление стружки на переднюю поверхность инструмента в кг/мм^2 ; S – площадь срезаемого слоя в мм).

3) Проекция силы резания на направление, нормальное к оси вращения заготовки F_1 , скорости подачи F_2 и скорости резания F_3 отличаются от модуля силы F_0 на угловые коэффициенты $\chi_i, i = 1, 2, 3$, то есть

$$\mathbf{F} = \{F_1, F_2, F_3\}^T = F_0 \{\chi_1, \chi_2, \chi_3\}^T, \quad (1)$$

где $(\chi_1)^2 + (\chi_2)^2 + (\chi_3)^2 = 1$.

4) Обрабатываемая деталь имеет круглое сечение, поэтому силе F_1 соответствуют деформации X_1 , деформациями в ортогональных направлениях пренебрегаем, так как они либо малы, либо не влияют на диаметр. Подсистема инструмента является недеформируемой по отношению к несущей системе станка, но по отношению к ротору серводвигателя подачи существуют суммарные деформационные смещения всего редуктора, оцениваемые приведенной жесткостью c_0 (рис. 1). Если деформации ме-

ханической части привода подачи отсутствуют, то скорость подачи определяется очевидным соотношением $V_{\Pi} = k\Omega_2$. Здесь k – коэффициент, численно равный перемещению суппорта в мм , соответствующему одному обороту якоря двигателя подачи.

С учетом указанных допущений модель модуля сил резания можно представить в виде

$$F_0 = \rho(t_p - Y) \int_{t-T}^t [k\Omega_2(\xi) - v_2(\xi)] d\xi, \quad (2)$$

где $v_2(t) = dX_2 / dt$; $T = (\Omega_1)^{-1}$.

В (2) интеграл представляет выражение для вычисления текущего значения подачи с учетом функции деформационных смещений в приводе подачи, то есть пути, пройденном инструментом за время оборота заготовки. Раскроем смысл выражения (2) для случая постоянства скорости подачи. Для этого учтем, что первообразной интеграла от скорости $v_2(t)$ деформационных смещений есть сами деформационные смещения, то есть

$$\begin{aligned} F_0 &= \rho(t_p^{(0)} - Y) \int_{t-T}^t [k\Omega_2(\xi) - v(\xi)] d\xi = \\ &= \rho(t_p - Y)[k\Omega_2 T - X(t) + X(t-T)] \end{aligned}$$

и примем во внимание: $k\Omega_2 T = S_p^{(0)}$ – установившееся значение скорости подачи, для которого справедливо $X_1(t) = X_1(t-T)$; $t_p^{(0)}$ – глубина резания без учета упругих деформационных смещений. Кроме этого учтем, что деформационные смещения есть величины малые, поэтому их произведениями можно пренебречь. Тогда получаем линеаризованное приближение для модуля силы резания в виде

$$F_0 = \rho[t_p^{(0)} S_p^{(0)} + S_p^{(0)} X_2(t-T) - t_p^{(0)} X_1(t) - S_p^{(0)} X_2(t)]. \quad (3)$$

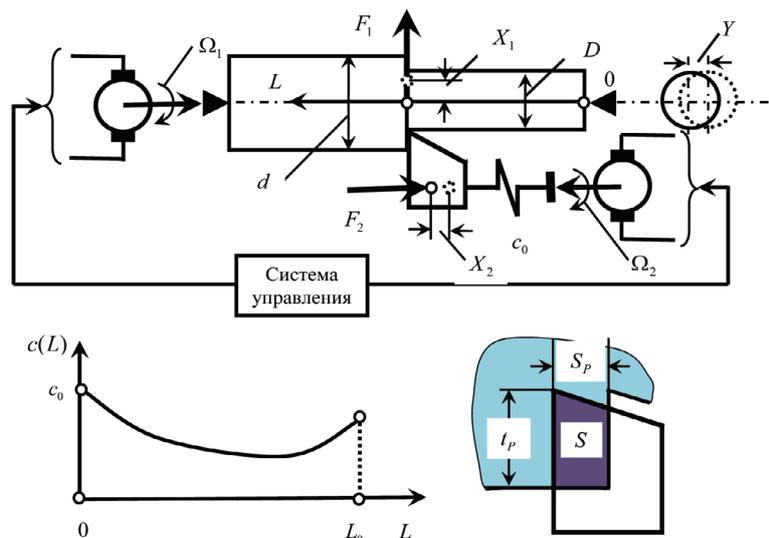


Рис. 1. Схема взаимодействия приводов вращения шпинделя и подачи суппорта, а также формирования динамической связи процесса резания

Выражение (3) позволяет вычислить деформационные смещения $X_1(t)$ и $X_2(t)$, если они заданы в момент $(t - T)$. Кроме этого здесь полагается, что $S_p^{(0)} = \text{const}$ и $t_p^{(0)} = \text{const}$. Тогда деформационные смещения вычисляются из системы

$$\mathbf{XC} = \mathbf{F}, \tag{4}$$

$$\text{где } \mathbf{F} = \rho t_p^{(0)} [S_p^{(0)} + X_2(t - T)] \{\chi_1, \chi_2\}^T; \mathbf{X} = \{X_1, X_2\}^T; \mathbf{C} = \begin{bmatrix} [c + \chi_1 \rho S_p^{(0)}] & \chi_1 \rho t_p^{(0)} \\ \chi_2 \rho S_p^{(0)} & [c_0 + \chi_2 \rho t_p^{(0)}] \end{bmatrix}.$$

Из (4) получаем величину упругого смещения инструмента относительно заготовки в точке контакта с ней вершины инструмента

$$X_1(t) = \frac{\rho \chi_1 c_0 t_p^{(0)} \{S_p^{(0)} + X_2(t - T)\}}{c_0 c + c \chi_2 \rho t_p^{(0)} + c_0 \chi_1 \rho S_p^{(0)}}. \tag{5}$$

Мы видим, что деформационные смещения вершины инструмента зависят практически от всех параметров системы и технологических режимов, которые определяются программой ЧПУ, то есть зависят от управляемых траекторий исполнительных элементов станка. В процессе обработки параметры ρ , $\chi_i, i = 1, 2, 3$, c , c_0 и T являются заданными. Проще всего варьировать подачу $S_p^{(0)}$, зависящую от соотношения Ω_1 и Ω_2 . Частоты Ω_1 и Ω_2 определяются траекториями исполнительных элементов станка и являются управляемыми в пределах полосы пропускания приводов. Из (5) получаем соотношение, позволяющее вычислить величину подачи в момент t , если задано значение деформаций в момент $t - T$. При $X_1 = \text{const}$ имеем

$$S_p^{(0)}(t) = \frac{X_1 \{c_0 c + c \rho \chi_2 t_p^{(0)}\} - c_0 \rho \chi_1 t_p^{(0)} X_2(t - T)}{c_0 \chi_1 \rho [t_p^{(0)} - X_1]}. \tag{6}$$

Выражение (6) позволяет вычислить последовательности величин подачи на оборот в момент, если задано значение X_2 на предыдущем обороте.

Прежде, чем переходить к рассмотрению проблем управления, проанализируем важные свойства интегрального оператора, моделирующего формирование величины подачи.

Анализ интегрального оператора. Рассмотрим свойства интегрального оператора

$$S_p(t) = \int_{t-T}^t [V_{\Pi}(\xi) - v_2(\xi)] d\xi, \text{ который в (2) используется для вычисления текущего значения оборотной}$$

подачи $S_p(t)$, сосредоточив основное внимание на его особенностях как части динамической системы. При этом необходимо учитывать, что именно вариации величины подачи характеризуют главный фактор, обеспечивающий изменение сил резания, следовательно, упругих деформационных смещений, влияющих на текущее значение диаметра обрабатываемой детали. Для рассмотрения его основных особенностей положим, что деформации $X_1 = 0$. Тогда уравнение, определяющее связь скорости подачи $V_{\Pi}(t) = k\Omega_2(t)$ с деформациями и текущим значением $S_p(t)$ будет

$$c_0 X_2 = \rho t_p^{(0)} \int_{t-T}^t [V_{\Pi}(\xi) - v_2(\xi)] d\xi. \tag{7}$$

Его можно преобразовать к следующему виду

$$c_0 X_2 = \rho t_p^{(0)} \left\{ \int_0^t V_{\Pi}(\xi) d\xi - \int_0^{t-T} V_{\Pi}(\xi) d\xi - \int_0^t v_2(\xi) d\xi + \int_0^{t-T} v_2(\xi) d\xi \right\}$$

и представить в изображениях по Лапласу

$$c_0 X_2(p) = \rho t_p^{(0)} \left\{ V_{\Pi}(p) \frac{1 - \exp(-pT)}{p} - X_2(p) [1 - \exp(-pT)] \right\}. \tag{8}$$

Для (8) удобно рассмотреть структурную схему (рис. 2).

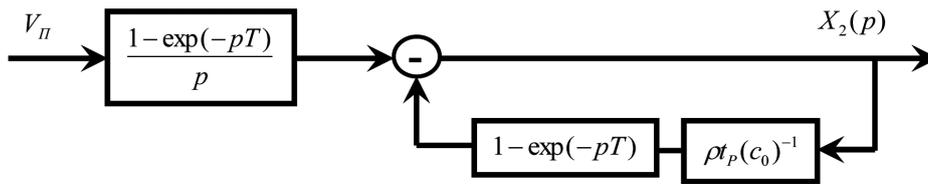


Рис. 2. Структурная схема преобразования скорости подачи в величину подачи

Из структурной схемы получаем передаточную функцию, связывающую скорость подачи с величиной деформационных смещений $X_2(p)$

$$c_0 X_2(p) = \rho t_p^{(0)} \left\{ V_{II}(p) \frac{1 - \exp(-pT)}{p} - X_2(p) [1 - \exp(-pT)] \right\},$$

или

$$X_2(p) = A \left\{ V_{II}(p) \frac{1 - e^{-pT}}{p} \cdot \frac{1}{1 + A[1 - e^{-pT}]} \right\}, \quad (9)$$

где $A = \frac{\rho t_p^{(0)}}{c_0}$ – безразмерный параметр, характеризующий интенсивность влияния процесса резания

на деформационные смещения механической части привода подачи в направлении управляемой подвижности его элементов. Очевидно, при $A = 0$ имеем передаточную функцию преобразования скорости

подачи в деформационные смещения $X_2(p)$ в виде $\frac{1 - \exp(-pT)}{p}$. Выражение $\frac{1}{1 + A[1 - \exp(-pT)]}$

«окрашивает» свойства динамического преобразователя тем больше, чем больше A . Оно вносит дополнительную инерционность в преобразование во временной области и затухания в частотные характеристики. Принимая во внимание (8) и (9), получаем связь между скоростью подачи и самой подачей

$$S_p(p) = V_{II}(p) \frac{1 - \exp(-pT)}{p} \cdot \left\{ 1 - \frac{A[1 - \exp(-pT)]}{1 + A[1 - \exp(-pT)]} \right\}. \quad (10)$$

Частотные свойства преобразования. Вначале рассмотрим частотные свойства преобразования $V_{II} \Rightarrow S_p$. Для этого вычислим амплитудно-фазовую частотную характеристику (АФЧХ) этого преобразования $W_{V,S}(j\omega)$. После очевидных преобразований имеем

$$W_{V,S}(j\omega) = \left\{ \frac{\sin(\omega T)}{\omega} - j \frac{1 - \cos(\omega T)}{\omega} \right\} \{R(\omega) + jI(\omega)\}, \quad (11)$$

где $R(\omega) = 1 - \frac{A[1 + 2A][1 - \cos(\omega T)]}{[1 + A - A \cos(\omega T)]^2 + A^2 \sin^2(\omega T)} = \frac{1 + A - A \cos(\omega T)}{[1 + 2A(1 + A)(1 - \cos(\omega T))]}$;

$$I(\omega) = \frac{A \sin(\omega T)}{[1 + A - A \cos(\omega T)]^2 + A^2 \sin^2(\omega T)} = \frac{A \sin(\omega T)}{[1 + 2A(1 + A)(1 - \cos(\omega T))]}.$$

Выражение (11) удобнее анализировать в виде модуля $Mod[W_{V,S}(j\omega)]$ и аргумента $Arg[W_{V,S}(j\omega)]$, то есть

$$Mod[W_{V,S}(j\omega)] = \left\{ \frac{2(1 - \cos \omega T)}{\omega^2 [1 + 2A(1 + A)(1 - \cos \omega T)]} \right\}^{0,5}$$

$$Arg[W_{V,S}(j\omega)] = -\arctg \frac{(1 - \cos \omega T)}{\sin \omega T} + \arctg \frac{A \sin(\omega T)}{1 + A - A \cos(\omega T)}. \quad (12)$$

Как видно, модуль $\{R(\omega)\}^2 + \{I(\omega)\}^2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 2A(1+A)[1 - \cos(\omega T)]}}$. Обратим внимание на то, что при $\omega \rightarrow 0$, то есть в области медленных движений, независимо от A значение модуля $Mod[W_{v,s}(j\omega)] \rightarrow T$. В том случае, если жесткость механической части привода есть величина большая, то есть выполняется соотношение $c_0 \gg \rho l_p^{(0)}$, то $W_{v,s}(j\omega) \Rightarrow \left\{ \frac{\sin(\omega T)}{\omega} - j \frac{1 - \cos(\omega T)}{\omega} \right\}$. Это предельный случай, когда жесткость механической части привода есть величина большая и деформационными смещениями суппорта по отношению к якорю двигателя можно пренебречь. Кроме этого из (11) следует, что при $\omega \rightarrow 0$ (рассматриваются медленные движения системы), оператор $W_{v,s}(j\omega) \Rightarrow T$. Действительно, при $\omega \rightarrow 0$ $R(\omega) \rightarrow 1$, $I(\omega) \rightarrow 0$, а $\left\{ \frac{\sin(\omega T)}{\omega} - j \frac{1 - \cos(\omega T)}{\omega} \right\} \rightarrow T$, так как $\partial \left\{ \frac{1 - \cos(\omega T)}{\omega} \right\} / \partial \omega \Rightarrow 0$ и $\partial \left\{ \frac{\sin(\omega T)}{\omega} \right\} / \partial \omega \Rightarrow T$. Тогда $S_p(t) = V_{п}(t)T$ – известное соотношение, которое является частным случаем соотношения (10). При увеличении параметра A наблюдается существенное изменение АФЧХ системы, следовательно, динамических свойств преобразования скорости подачи с саму подачу и силы резания.

Вначале рассмотрим предельный случай $A = 0$. Пусть частота вращения заготовки Ω_0 неизменна, то есть $T = \text{const}$. Тогда в частотной области связь между изменениями подачи в установившемся состоянии и вариациями суммарной скорости определяется АФЧХ (рис. 3)

$$\frac{S_p(j\Omega)}{V_\Sigma(j\Omega)} = T \left\{ \frac{\sin \Omega}{\Omega} + j \frac{\cos \Omega - 1}{\Omega} \right\}, \tag{13}$$

где $\Omega = T\omega$ – безразмерная частота.

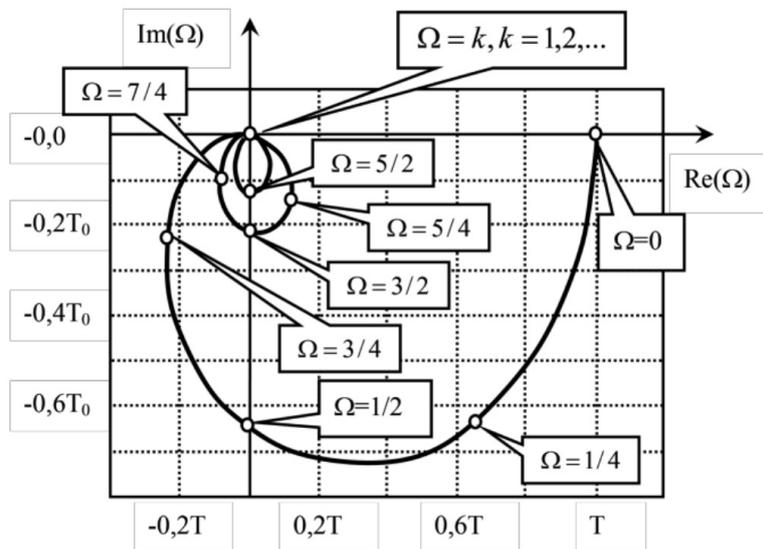


Рис. 3. АФЧХ преобразования скорости подачи в величину подачи

Мы видим, что в низкочастотной области (до частоты $0,1\Omega$) вариации подачи отличаются от вариаций скорости на постоянный коэффициент « T ». Затем наблюдается быстрое вращение фазы и периодическое, с монотонным затуханием максимальной амплитуды, изменение S_p . Фаза вращается в пределах « $0 - \pi$ », что влияет на динамические свойства, в том числе на устойчивость. Если условие $A = 0$ не справедливо, то необходимо дополнительно учитывать множитель $\{R(\omega) + jI(\omega)\}$. Изменения частотных свойств преобразования вариации скорости подачи в ее величину обусловлено влиянием сил резания на деформационные смещения, образующиеся в механической части привода.

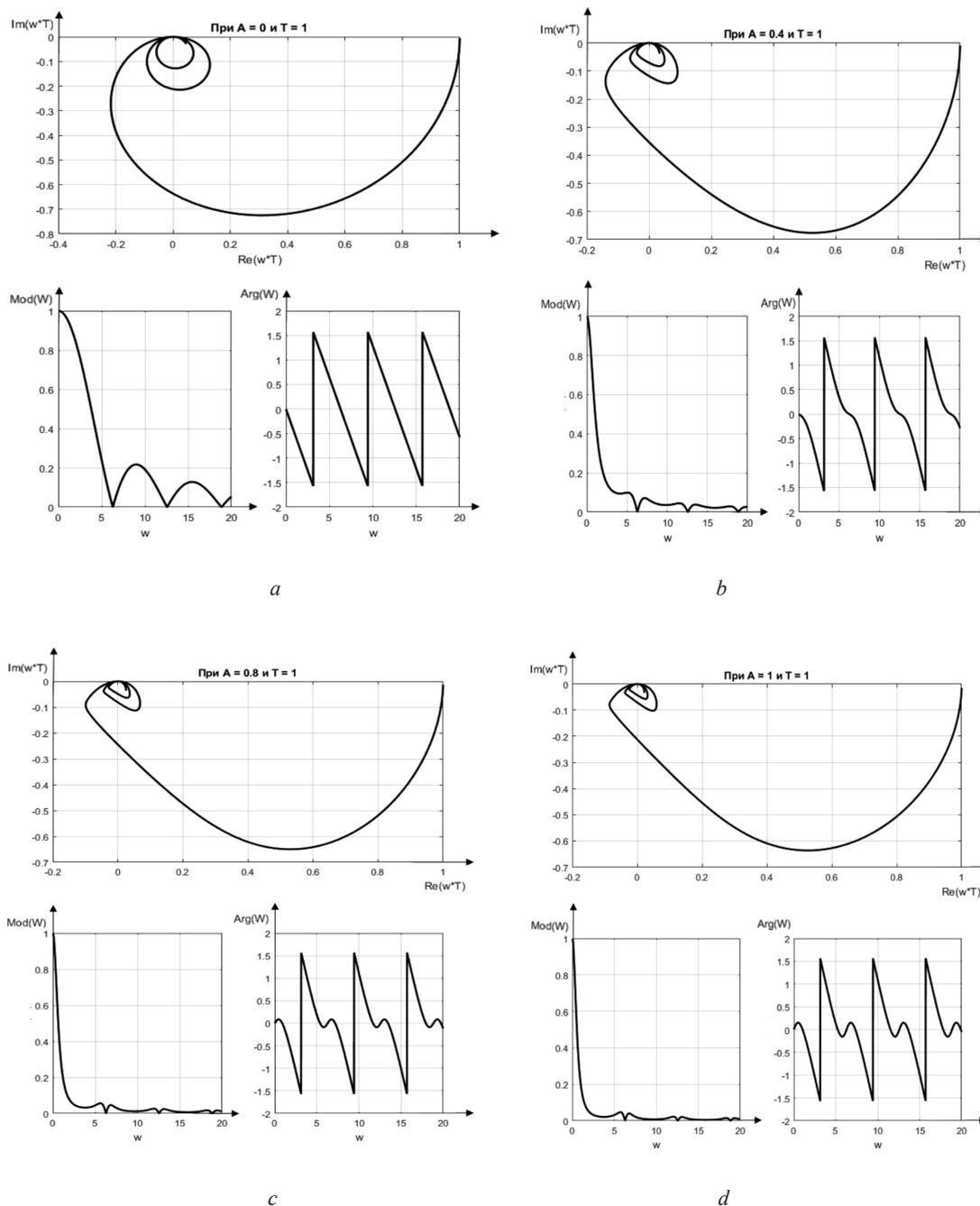


Рис. 4. Изменение АФЧХ преобразования в зависимости от жесткости механической части привода подачи: а – $A = 0$; б – $A = 0,4$; в – $A = 0,8$; д – $A = 1$

Анализ результатов. Приведенные примеры показывают, что жесткость механической части привода принципиально влияет на амплитудно-фазовую частотную характеристику преобразования скорости подачи в силы резания (рис. 4). Как видно, уменьшение жесткости привода существенно уменьшает амплитуду по мере роста частоты и изначальная АФЧХ, которая имела заметные всплески, преобразуется в характеристику с амплитудным затуханием.

Такая характеристика должна вызывать преобразования колебательных переходных процессов в монотонные, близкие к апериодическим. Кроме этого заметно, что полоса пропускания в графике привода подачи, значительно сужается. Следовательно, влияние переходного процесса в системе зависит от жесткости механической части привода, так при уменьшении жесткости время переходного процесса возрастает.

Заключение. Приведенный анализ показал, что при создании систем управления обработкой на металлорежущих станках необходимо согласовать динамические свойства механической части со свойствами двигателей, обеспечивающими траектории исполнительных элементов. Для повышения последовательного быстрого действия системы, и качества управления, необходимо учитывать упругие деформационные смещения, и обеспечить жесткость механической части привода в допустимых значениях. Указанный тезис особенно актуален, при создании систем управления деталей сложной геометрической формы, когда траектории приводов подачи существенно меняются вдоль оси вращения заготовки.

Список литературы

1. Haken, Hermann. Information and Self-Organization. A Macroscopic Approach to Complex Systems. 2006, Amsterdam: Elsevier, 251 p. ISSN: 0172-7389.
2. Prigogine I., George C. The Second Law as a Selection Principle: The Microscopic Theory of Dissipative Processes in Quantum Systems. Proceedings of the National Academy of Sciences. 1983, vol. 80, p. 4590-4594.
3. Заковоротный В.Л., Флек М.Б., Угнич Е.А. Модель управления современным предприятием на основе системно-синергетического подхода. Экономическая наука современной России. 2016. № 4 (75). С. 112-128.
4. Колесников А.А. Прикладная синергетика: основы системного синтеза прикладная синергетика: основы системного синтеза. Ростов-на-Дону: изд-во ЮФУ, 2007. 384 с.
5. Заковоротный В.Л., Шаповалов В.В. Динамика транспортных трибосистем. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2005. № 12. С. 19-24.
6. Рыжкин А.А. Синергетика изнашивания инструментальных материалов при лезвийной обработке. / А.А. Рыжкин; Донской гос. техн. ун-т. Ростов-на-Дону, 2019. С. 226-262.
7. Тверской М.М. Автоматическое управление режимами обработки деталей на станках. М.: Машиностроение, 1982. 208 с.
8. Михеев Ю.Е., Сосонкин В.Л. Системы автоматического управления станками. М.: Машиностроение, 1978. 264 с.
9. Базров Б.М. Технологические основы проектирования самоподнастраивающихся станков / Б.М. Базров. М.: Машиностроение, 1978. 216 с.
10. Адаптивное управление станками / [Б.М. Базров и др.]; под ред. Б.С. Балакшина. М.: Машиностроение, 1973. 688 с.
11. Легаев В.П., Генералов Л.К. Повышение эффективности токарной обработки на основе автоматического контроля показателей процесса резания // Вестник машиностроения. 2011. № 1. С. 44-46.
12. Заковоротный В.Л., Лапшин В.П., Туркин И.А. Управление процессом сверления глубоких отверстий спиральными сверлами на основе синергетического подхода // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2014. № 3 (178). С. 33-41.
13. Заковоротный В.Л., Флек М.Б., Фам Д.Т. Синергетическая концепция при построении систем управления точностью изготовления деталей сложной геометрической формы // Вестник Донского государственного технического университета. 2011. Т. 11. № 10 (61). С. 1785-1797.
14. Заковоротный В.Л., Туркин И.А., Лапшин В.П. Влияние параметров серводвигателей на динамические свойства системы сверления глубоких отверстий спиральными сверлами. Вестник Донского государственного технического университета. 2014. Т. 14. № 2 (77). С. 56-65.
15. Заковоротный В.Л., Панов Е.Ю., Потапенко П.Н. Свойства формообразующих движений при сверлении глубоких отверстий малого диаметра. Вестник Донского государственного технического университета. 2001. Т. 1. № 2. С. 81-93.

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Гаврильченко А.А., Филимонов М.Н.,
Карев Д.В.

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону,
e-mail: gavrilchenko.anna@mail.ru*

Статья посвящена способам автоматизации люкового грузозачного устройства по средствам удаленной передачи данных оператору. Статья содержит аналитический разбор способов передачи информации в шахтах, принцип работы этих способов.

Трудно представить себе современный мир без интернета и сотовой связи. Эти продукты настолько тесно вошли в нашу жизнь, что кажется, будто без них остановится всё: не будут работать многие бизнес-процессы, переговоры между партнёрами из разных регионов или стран растянутся на длительный срок, диспетчеры и механики перестанут получать оперативные данные о работе техники. В шахтах и на рудниках появляется всё более современное оборудование, которое требует создания единой высокоскоростной инфраструктуры передачи данных. Поэтому на первый план в горнодобывающей отрасли выходят системы сотовой связи [1].

1. «Сотовые» шахты

Сотовые технологии привнесли в карьеры и на рудники цифровую передачу данных, дуплексную телефонную связь и возможность определения местонахождения абонента в реальном времени. С такой технологией вместо раций там можно использовать телефоны и различные абонентские устройства с беспроводными «метками».

Для работы сотовой связи в карьере на отметке ниже уровня моря точно так же, как и для бытовой, нужна инфраструктура. Например, некоторые операторы кроме голосовой связи, также обеспечивает передачу данных на скорости до 21 Мбит/с – для М2М-передачи данных между карьерной техникой и службой диспетчеров разрезов.

Однако, по словам технического директора направления радиосвязи, сотовую связь применяют в горнодобывающей отрасли редко, поскольку она неоперативна.

Сотрудники, работающие в забое и на других опасных участках, должны не только поддерживать постоянную связь между собой, но и иметь возможность моментально вызвать диспетчера. В свою очередь, диспетчер должен оперативно вызывать группу сотрудников, а сотовая связь этого не позволяет. На набор номера и вызов может уйти много времени, а при ведении многих производственных процессов и осо-