

Математическая модель автоматизированной системы управления мобильным агрегатом повышенной энергоэффективности

Д.А. Кацай

ЮУрГУ (НИУ), г. Челябинск, kdamail@mail.ru

Статья посвящена построению математической модели мобильного фрезерного агрегата, предназначенного для повышения эффективности проведения дорожных работ.

Ключевые слова: мобильный фрезерный агрегат, математическая модель, эффективность дорожных работ.

Строительство и обслуживание автомобильных дорог являются важными задачами, решаемыми в масштабах государства. Предлагаемый мобильный фрезерный агрегат предназначен для обработки поверхностного слоя дороги с целью её очищения от наледи или удаления старого изношенного асфальтобетонного слоя на гарантированную величину. В основу работы фрезерного агрегата заложен принцип ротационного резания [1], предложенный в 1868 г. английским исследователем Д.М.Непиром. Оригинальная конструкция фрезерного барабана защищена патентом [2] и реализована в составе малогабаритного агрегата с ручным управлением, представленного на рис.1.



Рис.1

Расширение функциональных возможностей агрегата приводит к необходимости разработки его математической модели.

В состав агрегата с автоматизированной системой управления, показанный на рис. 2, входят следующие устройства: Дв – приводной двигатель; ПМ – передаточный механизм; ФБ - фрезерный барабан с

фрезами-сателлитами; ДВП – датчик вертикального положения ФБ; ДР – датчик опорных реакций ФБ; МПС – микропроцессорное средство; ЭД – электродвигатель СУ. Обозначения параметров на схеме: Oxy – система отсчета, связанная с неподвижной поверхностью; y_0 – некоторая постоянная величина; y_n – номинальное (требуемое) значение глубины фрезерования; Δy – отклонение от номинального значения глубины фрезерования; $y_{обр}$ – фактическое значение глубины обработанной поверхности; $L_б$ – расстояние между опорной осью агрегата и осью вращения ФБ; α – угол поворота платформы относительно опорной оси агрегата ($\Delta y = L_б \cdot \alpha$); R – результирующая реакция со стороны обрабатываемой поверхности на фрезерный барабан.

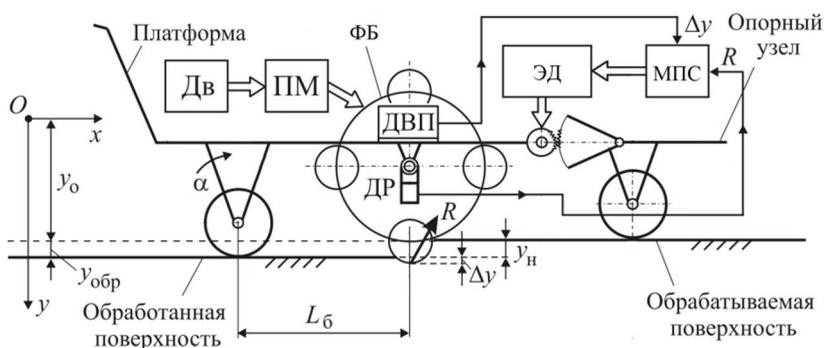


Рис. 2

Работа САУ агрегатом состоит в регулировании заданной глубины обработки $y_n \pm \Delta y$ поверхности путем разворота платформы с закрепленным на ней ФБ на угол α .

Кинематическая схема ФБ представлена на рис.3. Режущие элементы барабана 1 представляют собой фрезы-сателлиты 2, развернутые на угол γ в плоскости, касательной к цилиндрической поверхности ФБ. Режущие элементы совершают сложное движение относительно платформы: вращаются вместе с барабаном со скоростью $\omega_б$ и относительно барабана со скоростью $\omega_ф$. Такая схема позволяет вести резание в зоне контакта лезвия фрезы с обрабатываемым материалом на малых относительных скоростях $v \rightarrow 0$ и дает следующие положительные эффекты: незначительное пылеобразование от разрушаемого материала; малый нагрев материала и инструмента в зоне резания; малая механическая мощность N , требуемая для формирования сил резания, которая может быть представлена в виде: $N = F \cdot v \rightarrow 0$, где F – равнодействующая

щий вектор сил резания, \mathbf{v} – вектор скорости резания в точке приложения \mathbf{F} .

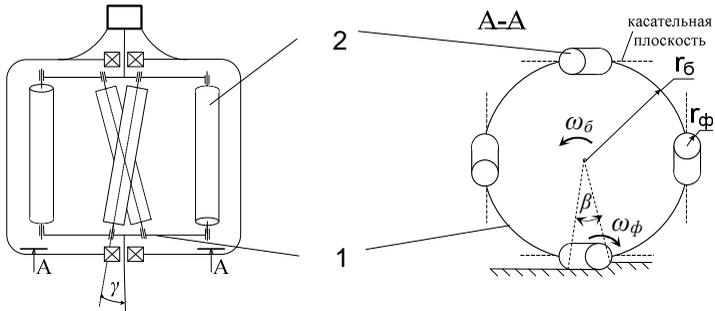


Рис.3

Рассмотрим плоское движение платформы агрегата для ротационного фрезерования относительно невращающейся системы координат Oxy . Предположим, что в горизонтальном направлении агрегат движется с постоянной скоростью. Тогда, уравнение углового движения платформы агрегата можно записать в виде

$$J_{\text{пр.пл}} \ddot{\alpha} = M[R(t, x)] - M_{\text{упр}}(\Delta y, \Delta \dot{y}, t), \quad (1)$$

где $J_{\text{пр.пл}}$ – приведенный момент инерции платформы агрегата относительно его опорной оси; $\ddot{\alpha}$ – угловое ускорение платформы агрегата относительно его опорной оси; $M_{\text{упр}}(\Delta y, \Delta \dot{y}, t)$ – момент управления, формируемый САУ с помощью исполнительного двигателя ЭД; $M[R(t, x)] = \rho_{\text{пр}} \cdot R(t, x)$ – приведенный относительно опорной оси агрегата момент реакции на ФБ со стороны обрабатываемого материала, где $\rho_{\text{пр}} = \rho_{\text{пр}}(\gamma, r_{\text{ф}}, r_{\text{б}})$ – приведенное плечо действия реакции $R(t, x)$ относительно оси вращения платформы, γ – угол разворота фрезы относительно барабана (см. рис.3), $r_{\text{ф}}, r_{\text{б}}$ – радиусы фрез и барабана. Момент реакции представляет собой нелинейную стохастическую функцию. На основании экспериментальных исследований были установлены следующие зависимости реакции $R(t, x)$ от величины подачи режущего элемента: $R(t, x) = (R_0(x) + \zeta(t) \cdot \sigma(\Delta R(x))) \cdot R_w(t)$, где $R_0(x) = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$, a, b, c – коэффициенты, зависящие от свойств обрабатываемого материала; $R_w(t) = \{1, \text{ для } t \leq t_1 \text{ и } 0 \text{ для } t_1 < t \leq T\}$ – периодическая функция, модулирующая случайный процесс $\zeta(t)$, обусловленная вращением ФБ, несущего на себе n фрез-сателлитов; $t_1 = \beta \cdot n / \omega_{\delta}$, β – угловой размер фрезы-сателлита (см. рис.3), $T = 2\pi / \omega_{\delta}$ – период одного оборота барабана, $\zeta(t)$ – нормированный случайный процесс с нормальным законом распределения; дисперсия $D(\Delta R(x))$ моделируемой реакции $R(t, x)$ является

функцией от подачи ФБ, задаваемой поступательным движением платформы в плоскости дорожного полотна: $\sigma(\Delta R(x)^2) = D(\Delta R(x)) = (kD \cdot R0(x))^2$, где kD - коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого материала и вида фрезы.

Структурная схема управления мобильным агрегатом, соответствующая уравнению (1), представлена на рис.4.

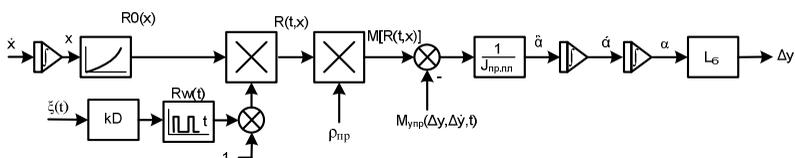


Рис.4

Уравнение (1) представляет собой неоднородное дифференциальное нелинейное стохастическое уравнение второго порядка. Анализ динамических свойств рассматриваемого объекта требует специального подхода, основы которого изложены в работе [3].

Библиографический список

1. Коновалов Е.Г., Сидоренко В.А., Соусь А.В. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов. Минск, «Наука и техника», 1972.-272 с.
2. Кацай Д.А., Баранова И.А. Устройство для разрушения ледяных и твердых образований на дорожных покрытиях. Пат. 96875 Российская Федерация, МПК E01H 5/12. № 20100113856/21; заявл. 08.04.2010; опубл. 20.08.2010.
3. Черноруцкий Г.С. Стохастический подход к анализу динамики автоматических систем / Г.С. Черноруцкий // Известия ВУЗов, Приборостроение. – 1965. – Т. VIII. – №6.

Mathematical model of an automated control system for the mobile unit of the increased energy efficiency

D. A. Katsay

SUSU, Chelyabinsk, kdemail@mail.ru

Article is devoted to creation of mathematical model of the mobile milling unit intended for increase of efficiency of carrying out a roadwork.

Keywords: mobile milling unit, mathematical model, efficiency of a roadwork.

References

1. Konovalov E.G., Sidorenko V.A., A.V Sous' *Progressivnye schemy rotatsionnogo rezaniya metallov* [Progressive Schemes of Rotational Cutting of Metals]. Minsk, "Science and Equipment" Publ., 1972, 272 p.
2. Katsay D. A., Baranova I.A. *Ustroystvo dlya razrucheniya ledyanykh i tverdych obrazovaniy na dorozhnykh pokrytiyach. Pat. 96875 Rossiyskaya federetsiya, MPK E01H 5/12. № 20100113856/21; zayavl.. 08.04.2010; opubl.. 20.08.2010.* [Device for Destruction of Ice and Firm Formations on Pavings. Patent 96875 Russian Federation, MPK E01N 5/12. No. 20100113856/21; decl.. 08.04.2010; publ. 20.08.2010].
3. Chernorutskiy G. S. [Stochastic Approach to the Analysis of Dynamics of Automatic Systems]. *News of Higher Education Institutions, Instrument making.* , 1965.,vol. VIII, №6. (in Russ.)