

УДК 625.76.08:519.677:625.8

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФРЕЗЕРНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА С РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ СРЕДОЙ

В.Н. Кузнецова, Н.А. Кирюшкина
ФГБОУ ВПО «СибАДИ», г. Омск, Россия.

Аннотация. В статье приведен анализ взаимодействия рабочих органов дорожных фрез с асфальтобетонным покрытием автомобильных дорог. Рассмотрены различные методики расчета параметров процесса фрезерования, схема векторов сил, действующих на зуб фрезы при встречном и попутном фрезеровании, одномерная модель колебательной системы для одного зуба фрезы, на который действует сила резания. При математическом описании процесса взаимодействия фрезерного рабочего органа с асфальтобетонным покрытием необходимо учитывать множество изменяющихся факторов. Возникает необходимость в создании теоретической и экспериментальной базы для проведения исследований в этом научном направлении.

Ключевые слова: дорожная фреза, асфальтобетонное покрытие, фрезерный барабан, вертикальная составляющая сил резания, контакт фрезы со средой, глубина резания, угол срезания.

Введение

Фрезерование асфальтобетонного покрытия с дальнейшей его переработкой является одним из современных и прогрессивных методов восстановления дорожных одежд, так как позволяет получить покрытие со сроком службы, аналогичным достигаемому при новом строительстве.

Во время взаимодействия фрезерного рабочего органа с асфальтобетоном возникает процесс с большим разнообразием факторов. Они зависят от схемы фрезерования и могут изменять свои значения в течение одного рабочего цикла фрезы. Проведем анализ существующих методик описания процесса фрезерования.

Математический анализ процесса фрезерования

В работе Гурина В.Д. [1] приведена методика расчета мгновенных значений окружной F_{zi} и радиальной F_{yi} составляющих сил резания по измеренным в этот же момент времени работы инструмента силам F_{Hi} и F_{Yi} : сила F_{Hi} параллельна направлению вектора V_s скорости подачи и определяется в плоской прямоугольной системе координат (X , Y) по координате X ; а сила F_{Yi} , нормальная к силе F_{Hi} , - по координате Y . Рассматриваемые силовые параметры представляют собой векторы, находящиеся в соответствующих плоских декартовых системах координат. (рис. 1).

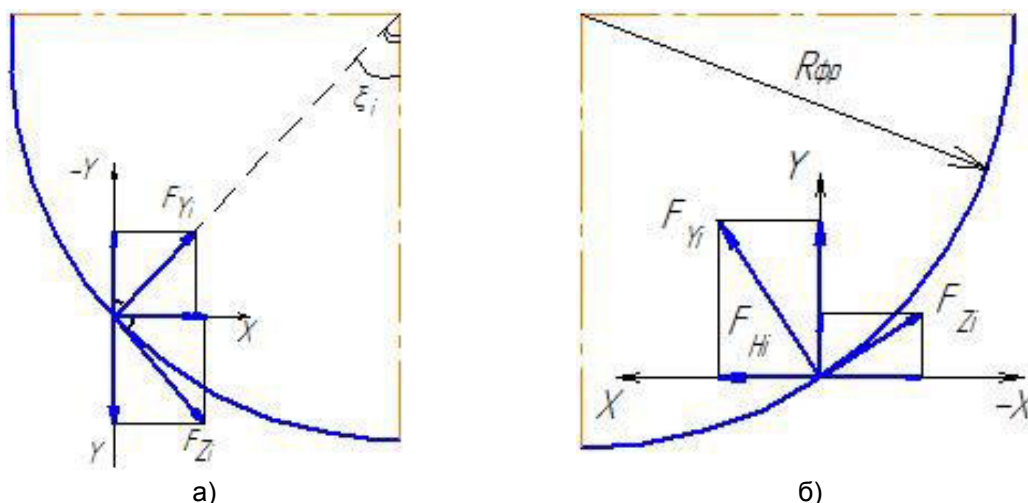


Рис.1. Схема векторов сил, действующих на зуб фрезы при встречном (а) и попутном (б) фрезеровании

Известно, что при контакте режущей кромки с обрабатываемым материалом возникает сила резания, которая пропорциональна площади поверхности контакта стружки с режущей частью инструмента и зависит от свойств обрабатываемого материала. Существует несколько экспериментально полученных зависимостей для определения силы резания. Проанализируем две из наиболее распространенных:

- линейная зависимость, предложенная в [2]:

$$F_1 = K_s ab, \quad (1)$$

где K_s - удельная сила резания, Н/мм²; a - осевая глубина резания, мм; b - радиальная глубина резания, мм;

- нелинейная зависимость, предложенная в [3]:

$$F_2 = K_s ab^x F, \quad (2)$$

где $x = \text{const}$ - коэффициент, при разных условиях резания изменяющийся от 0,7 до 0,8.

Система резания в совокупности является нелинейной. Однако, приняв ряд допущений (например, сократив число степеней свободы), можно избавиться от большинства нелинейных величин. Относительно устойчивости линейные и нелинейные системы проявляют себя неодинаково. Устойчивая при малых возмущениях линейная система будет устойчивой и при больших возмущениях. Система описывается нелинейным дифференциальным уравнением и может быть устойчивой при малых и неустойчивой при больших возмущениях.

Коэффициент удельной силы резания определяется экспериментально. Ведущие производители инструментов составляют таблицы параметра K_s для основных сплавов [4]. При фрезеровании глубина резания в радиальном направлении зависит от угла зацепления между фрезой и заготовкой. Данный параметр можно выразить через относительную величину Rl - относительное радиальное врезание, %: $Rl = 100b/D$ где D - диаметр фрезы. Рассмотрим одномерную модель колебательной системы для одного зуба фрезы, на который действует сила резания (рис. 2).

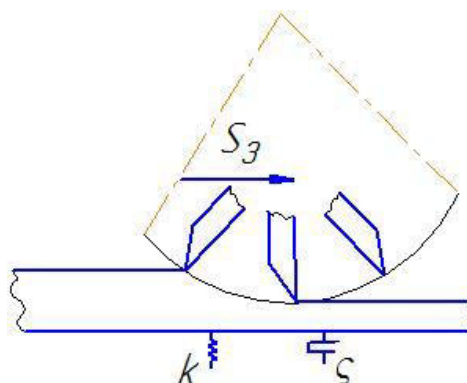


Рис. 2. Модель фрезерования

Уравнение смещения режущей кромки под действием периодической силы с одной степенью свободы имеет вид:

$$q + 2\zeta\omega_0 \dot{q} + \omega_0^2 q = \frac{\omega_0^2}{k} F, \quad (3)$$

где q , $\dot{q}$, $\ddot{q}$ - соответственно вибро смещение, виброскорость, виброускорение; ζ - относительный коэффициент демпфирования; ω_0 - частота собственных колебаний системы, рад/с; k - коэффициент жесткости, Н/м; F - сила внешнего воздействия [5].

Известно, что на величины главной (окружной) P_z и радиальной P_y составляющих силы резания влияет глубина фрезерования. В отличие от других методов механической обработки, например точения, при фрезеровании от глубины резания зависят не только величины, но и направления сил, в частности направление влияющей на точность и шероховатость обработанной поверхности вертикальной составляющей P^u силы резания.

В работе [6] расчетным путем показано, что при встречном фрезеровании плоскости вертикальная составляющая P^u силы резания может быть направлена как вверх, так и вниз. Ее направление зависит от соотношения глубины t резания и диаметра D фрезы. Этот вывод подтверждается следующим простым расчетом, в результате которого может быть найдена глубина t резания, при которой сила $P^u = 0$.

Исходя из допущения, что результирующая сила P_{yz} действия фрезы на заготовку сосредоточена в середине дуги ВС их контакта, найдем проекции окружной P_z и радиальной P_y составляющих сил на вертикальную ось:

$$P_y \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) = P_z \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right), \quad (4)$$

где φ - угол контакта фрезы со средой

Обозначим $P_y/P_z = k$, тогда

$$k \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) = \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right). \quad (5)$$

Функцию половины ($\varphi/2$) аргумента выразим через функцию целого аргумента φ :

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \sqrt{\frac{1 - \cos \varphi}{2}}, \quad (6)$$

$$\cos \frac{\varphi}{2} = \sqrt{\frac{1 + \cos \varphi}{2}}, \quad (7)$$

Подставим эти выражения в равенство (4) и получим:

$$\sqrt[k]{\frac{1 + \cos \varphi}{2}} = \sqrt{\frac{1 - \cos \varphi}{2}}, \quad (8)$$

Из треугольника OBE имеем $\cos \varphi = OE/OB$, т.е.

Подставив выражение (7) в равенство (6), получим выражение

$$\sqrt[k]{1 - \frac{t}{2R}} = \sqrt{\frac{t}{2R}}, \quad (9)$$

из которого следует

$$t = 2R \frac{k^2}{1 + k^2} = D \frac{k^2}{1 + k^2}. \quad (10)$$

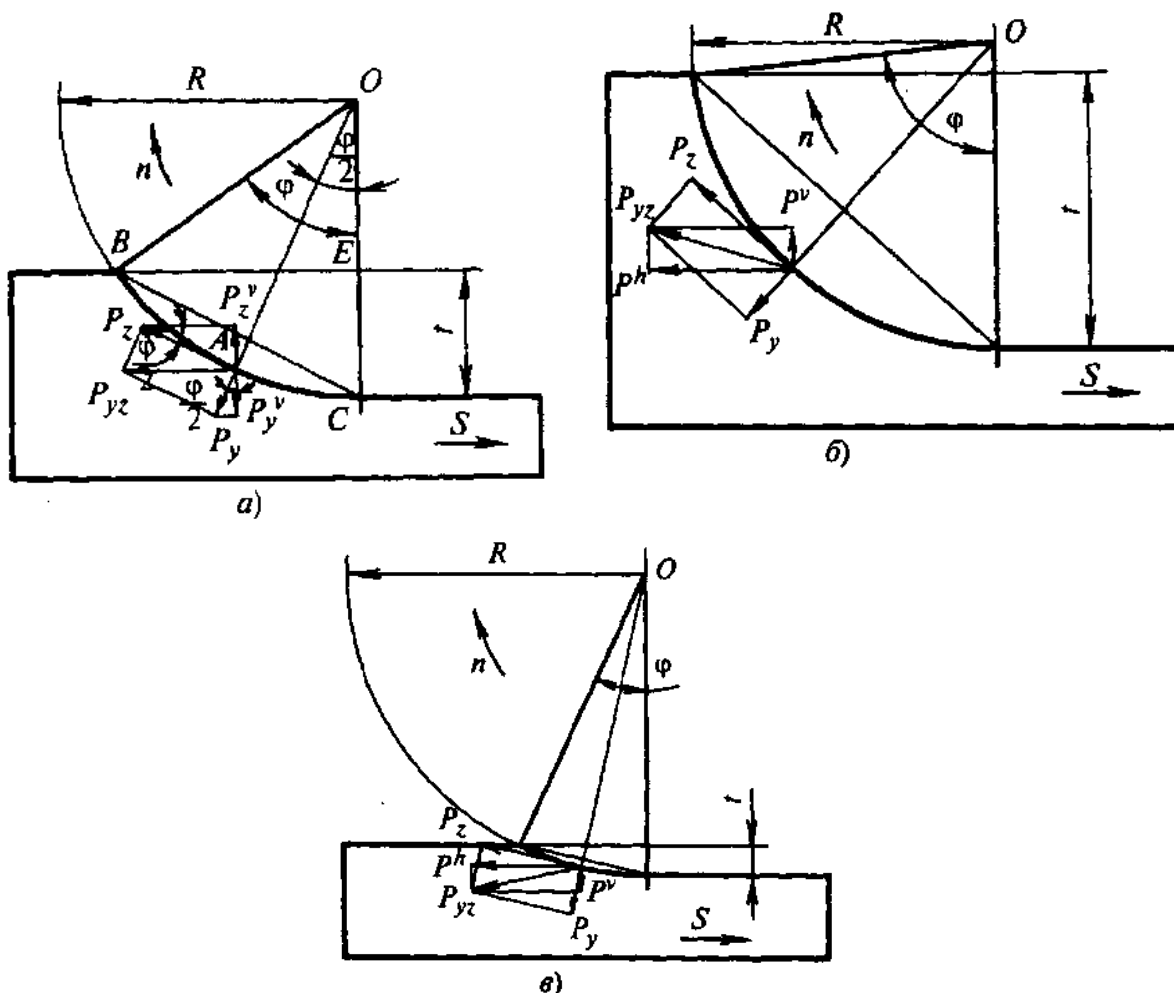


Рис.3 (а, б, в) Результаты экспериментального исследования зависимости вертикальной и горизонтальной составляющих сил резания

Таким образом, при глубине резания $t = D \frac{k^2}{1+k^2}$ вертикальная составляющая

сила $P_y^u = 0$. Так как $P_y^u = P_z^u$ (рис. 3,а).

Если $t > t = D \frac{k^2}{1+k^2}$ то P^u направлена в верх, так как $P_y^u > P_z^u$ (рис. 3,б).

Если $t < t = D \frac{k^2}{1+k^2}$, то P^u направлена вниз, так как $P_y^u < P_z^u$ (рис.3, в).

Глубина t резания, при которой сила $P_u = 0$, зависит от отношения $\frac{P_y^u}{P_z^u} = k$. Обычно принимают $k = 0.4 \div 0.6$. При $k = 0,4$ глубина резания $t = 0,14D$ (например, если $D = 35$ мм, то $t = 4,8$ мм); при $k = 0,5$ $t = 0,2 D$; при $k = 0,6$ $t = 0,26 D$.

Если глубина t резания больше указанных значений, то сила P^u направлена вверх, если меньше – вниз [7].

Заключение

Анализ приведенных математических зависимостей показывает, что при математическом описании процесса взаимодействия фрезерного рабочего органа с асфальтобетонным покрытием дорог необходимо учитывать целый ряд изменяющихся факторов: угол установки резца на барабане, скорость и частоту вращения барабана, угол контакта резцов с асфальтобетонным покрытием, конструктивные параметры резцов и фрезы и другие. Возникает необходимость в создании теоретической и экспериментальной базы для проведения исследований в этом научном направлении.

Библиографический список

1. Гурин, В.Д. Исследование силовых параметров при фрезеровании концевыми фрезами для диагностирования их состояния / В.Д. Гурин, С.М. Григорьев, С.В. Алешин, В.А. Семенов // Вестник машиностроения. – 2005. – № 9. – С. 19-22.
2. Analytical prediction chatter stability in milling./ Budak, E, Altintas Y. / P. I: General formulation // Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control. Transactions of the ASME. 1998. № 120. I. 1. P. 22-30.
3. Modelling nonlinear regenerative effects in metal cutting/ Stepan, G. // Philosophical transaction of the Royal Society of London. 2001. № 359. I. 1781. P. 739-757

4. Вращающийся инструмент Sandvik. Фрезерование. Сандвикен: Spoon publishing, 2012. – 359 с.

5. Красильников, А. Я. Исследования устойчивости систем с запаздыванием, описывающих процесс фрезерования, в случае с одной степенью свободы / А. Я. Красильников, К. Ю. Кравченко // Вестник машиностроения – 2013. – № 9. – С. 67-75.

6. Игнатов, М. Г. К вопросу об изменении вектора вертикальной составляющей силы резания при встречном фрезеровании / М. Г. Игнатов, С. В. Бабин, А. Е. Перминов // Вестник машиностроения. – 2006. – № 1. – С. 75-76.

7. Игнатов, М.Г. Влияние вектора вертикальной составляющей силы резания на точность и шероховатость обрабатываемой поверхности при встречном фрезеровании / М. Г. Игнатов, А. Е. Перминов, Е.Ю. Прокофьев // Вестник машиностроения. – 2008. – № 9. – С. 49-50.

ANALYSIS OF MATHEMATICAL DESCRIBE THE INTERACTION CUTTER WORKING BODY DEVELOPS ENVIRONMENT

V. N. Kuznetsova, N.A. Kiryushkina

Abstract. This article analyzes the interaction of working bodies of milling machines with asphalt roads. Various methods of calculating the parameters of the milling process, the scheme vectors of the forces acting on the tooth cutter with a head and a tail milling, one-dimensional model of the oscillating system for single-tooth cutter, which operates on the cutting force. When the mathematical description of the process of interaction with the working body of the milling asphalt need to consider many changing factors necessary to create a theoretical and experimental base for scientific research in this direction.

Keywords: road milling, asphalt coating, milling drum, the vertical component of the cutting forces, the cutter contact with the environment, cutting depth, cutting angle.

References

1. Gurin V.D., Grigoriev S.M., Aleshin S.V., Semenov V.A. Issledovanie silovykh parametrov pri frezerovanii koncevymi frezami dlia diagnostirovaniia ih sostojaniia [Investigation of power parameters for milling end mills to diagnose their condition]. *Vestnik mashinostroeniia*, 2005, no 9. pp. 19-22.
2. Analytical prediction chatter stability in milling./ Budak, E, Altintas Y. / P. I: General formulation // Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control. Transactions of the ASME. 1998. № 120. I. 1. P. 22-30.
3. Modelling nonlinear regenerative effects in metal cutting/ Stepan, G. // Philosophical transaction of the Royal Society of London. 2001. № 359. I. 1781. P. 739-757
4. *Vrashhajushhjsja instrument Sandvik. Frezerovanie. Sandviken* [The rotary tool Sandvik. Milling. Sandviken: Spoon publishing], 2012. 359 pp.

5. Krasilnikov, A.Y., Kravchenko K.Y. Issledovanija us-tojchivosti sistem s zapazdyvanijem, opisy-vajushhih process frezerovaniya, v sluchae s odnoj stepen'ju svobody [Investigation of the stability of systems with delay, describing the process of milling, in the case of one degree of freedom]. *Vestnik mashinostroenija*, 2013, no 9. pp. 67-75.

6. Ignatov M.G., Babin S.V., Perminov A.E. K voprosu ob izmenenii vektora vertikal'noj sostavljajushhej sily rezaniya pri vstrechnom frezerovanii [On the question of changing the vector of the vertical component of the cutting force with a head milling]. *Vestnik mashinostroenija*, 2006, no 1. pp. 75-76.

7. Ignatov M.G., Perminov A.E., Prokofiev E.Y. Vlijanie vektora vertikal'noj sostavljajushhej sily rezaniya na tochnost' i sherohovatost' obrabatyvaemoj po-verhnosti pri vstrechnom frezerovanii [Influence of vertical component of the vector cutting forces on the accuracy and roughness of the surface to be treated with a head milling]. *Vestnik mashinostroenija*, 2008, no 9. pp. 49-50.

Кузнецова Виктория Николаевна (Омск, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры "Эксплуатация транспортно-

технологических машин и комплексов в строительстве (ЭСМК)" ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: dissovetsibadi@bk.ru).

Кирюшкина Нина Александровна (Омск, Россия) – аспирантка кафедры "Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве (ЭСМК)" ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: vesnyshka_28@mail.ru).

Kuznetsova Victoria Nikolaevna (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, professor "Operation of transport technological machines and complexes in construction" of The Siberian automobile and highway academy (SIBADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: dissovetsibadi@bk.ru).

Kiryushkina Nina Aleksandrovna (Russian Federation, Omsk) – the graduate student of "Operation of Transport Technological Machines and Complexes in Construction (ESMIK)" of The Siberian automobile and highway academy (SIBADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: vesnyshka_28@mail.ru).

УДК 621.879.3

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧИМ ПРОЦЕССОМ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ОДНОКОВШОВОГО ЭКСКАВАТОРА

Р.Ю. Сухарев, А.В. Старостин
ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Аннотация. В статье представлен алгоритм работы автоматической системы управления рабочего процесса одноковшового гидравлического экскаватора (ЭОГ), позволяющий осуществлять автоматическую разработку траншей, а также расчетная схема положения рабочего органа ЭОГ. Данный алгоритм автоматической разработки траншеи ЭОГ позволит вести разработку траншеи с заданными глубиной, длиной и в заданном направлении автоматически, без участия человека-оператора, что позволит повысить эксплуатационную производительность ЭОГ.

Ключевые слова: гидравлический одноковшовый экскаватор, алгоритм автоматизации, автоматическая разработка траншей.

Введение

На сегодняшний день очень остро стоит вопрос рационализации, модернизации и совершенствования дорожного строительства, в том числе дорожных, строительных и подъемно-транспортных машин, а также систем управления. Одной из наиболее распространенных землеройных машин является ЭОГ.

На данный момент, в мире существует ряд автоматизированных систем управления ЭОГ. По принципу действия все эти системы являются индикаторными, то есть они позволяют человеку-оператору визуально отсле-

живать положение режущей кромки ковша в рабочем пространстве. Несмотря на точные показания положения режущей кромки ковша в рабочем пространстве (погрешность не превышает 10 мм), человеческий фактор ничем не компенсируется и по-прежнему оказывает существенное влияние как на производительность, точность работ, так и на время, необходимое для выполнения строительных работ.

В данной статье речь пойдет о разработках в области автоматизации рабочего про-