РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 625.089.4

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССАДОРОЖНОЙ ФРЕЗЫ ПРИ РАЗРУШЕНИИ АСФАЛЬТОБЕТОНА

С.Д. Игнатов, Н.С. Шерстнев
ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Аннотация. *В данной статье рассматривается математическая модель рабочего процесса дорожной фрезы, оснащенной системой управления загрузкой двигателя внутреннего сгорания, представлены зависимости крутящего момента на валу двигателя внутреннего сгорания, часового расхода топлива, производительности дорожной фрезы, энергоэффективности от пройденного пути без систем регулирования и с двухконтурной системой регулирования, разработаны блок-схемы рабочего процесса дорожной фрезы, оснащенной системой управления загрузкой двигателя внутреннего сгорания, и алгоритма двухконтурной системы автоматического регулирования загрузки ДВС.*

Ключевые слова: *дорожная фреза, система регулирования, асфальтобетон, двигатель внутреннего сгорания.*

ВВЕДЕНИЕ

Автомобильная дорога рассчитана на определенный срок службы, в течении которого она подвергается различного рода воздействиям транспорта и погодно-климатических факторов. Самым первым и наиболее незащищенным ее элементом, испытывающим такие воздействия, является асфальтобетонное покрытие. Практикой установлено, что поверхность покрытия, нуждающаяся в локальном текущем ремонте, ежегодно может составлять до 2-3% от общей площади покрытия дороги или ее участка. Когда серьезные повреждения и дефекты достигают 12-15%, общепринято ставить на ремонт 100% этой площади. Особый вид техники, применяемый при проведении ремонтных работ дорожного покрытия является дорожная фреза [1,2,3].

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДОРОЖНОЙ ФРЕЗЫ ПРИ РАЗРУШЕНИИ АСФАЛЬТОБЕТОНА

При проектировании дорожной фрезы одним из этапов является исследование статических и динамических характеристик на основе адекватной математической модели [4.]

В результате исследований рабочего процесса (РП) дорожной фрезы (ДФ) была составлена блок-схема (рисунок 1), которая легла в основу математической модели РП ДФ, реализованной в программном продукте Matlab Simulink (рисунок 2) [5, 6].

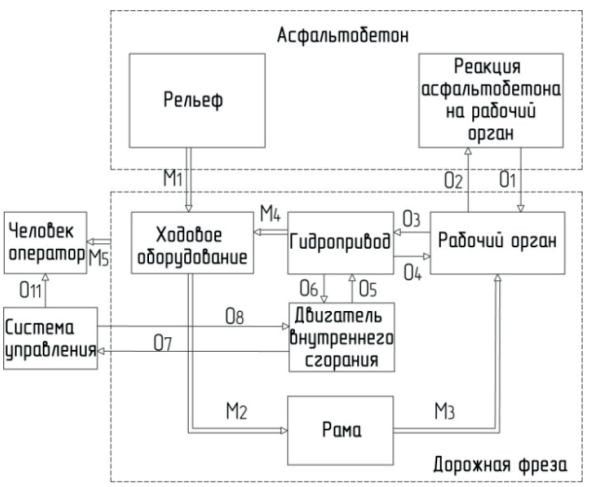

Рис. 1. Блок-схема рабочего процесса дорожной фрезы, оснащенной системой управления загрузкой двигателя внутреннего сгорания

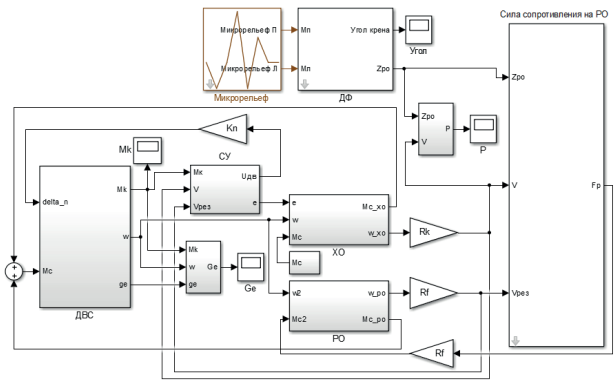

Рисунок 2. Математическая модель рабочего процесса дорожной фрезы, оснащенной системой управления загрузкой двигателя внутреннего сгорания

Рассматривается установившийся рабочий процесс ДФ. Возмущающими воздействиями на модель являются неуправляемые изменения микрорельефа, по которому перемещается машина. Выходными параметрами являются угол поперечного крена ДФ, производительность машины (P), крутящий момент на валу двигателя внутреннего сгорания (Mk) и часовой расход топлива (Ge).

Зная производительность и часовой расход можно рассчитать энергоэффективность машины по формуле [1].

$$E = \frac{P}{Ge}. \qquad (1)$$

Моделирование РП ДФ, не оснащенной системой регулирования (СР), осуществлялось при заглублении рабочего органа на 0,2 м в асфальтобетон класса А2.

В результате были получены графики зависимостей параметров РП ДФ, не оснащенной системами управления (рисунок 3-6), которые оценивались при помощи математического ожидания и среднеквадратических отклонений.

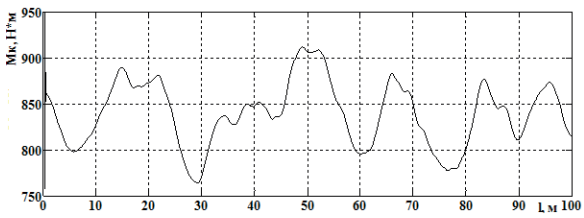

Рисунок 3. Зависимость крутящего момента на валу ДВС от пройденного ДФ пути

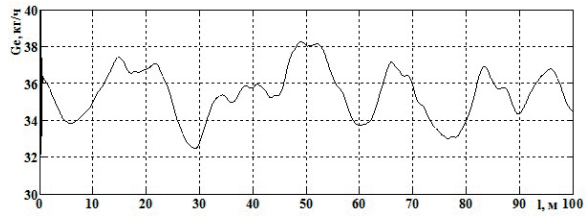

Рисунок 4. Зависимость часового расхода топлива от пройденного ДФ пути

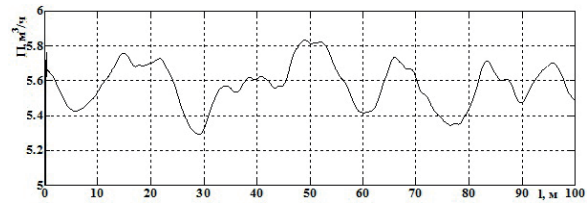

Рисунок 5. Зависимость производительности дорожной фрезы от пройденного ДФ пути

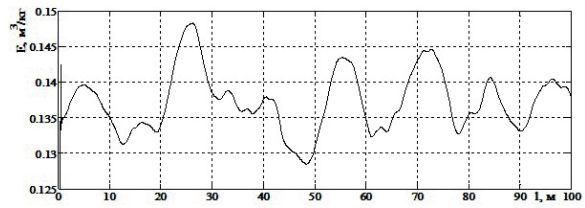

Рисунок 6. Зависимость энергоэффективности дорожной фрезы от пройденного ДФ пути

Так для графика зависимости крутящего момента на валу ДВС от пройденного дорожной фрезой пути математическое ожидание составило $\mu(M_K)$=849,9Н·м при среднеквадратическом отклонении σ_M=28,9 Н·м; для графика зависимости часового расхода топлива от пройденного машиной пути - $\mu(G_e)$=35,8 кг/ч при σ_G=1,1 кг/ч; для графика зависимости производительности ДФ от пройденного пути - μ(П)=5,53 м³/ч при $\sigma_П$=0,103 м³/ч; для графика зависимости энергоэффективности дорожной фрезы от пройденного машиной пути - μ(E)=0,137 м³/кг при σ_E=0,0039 м³/кг.

Для дизельного двигателя, работающего на переменных режимах, величина оптимального крутящего момента на валу ДВС должна составлять 78% от номинального крутящего момента. Для модели ДФ ФДХС-К-1000-01 это значение составляет 975 Н·м. Анализ графиков зависимостей показал, что математическое ожидание крутящего момента на валу ДВС мало (849,9 Н·м), увеличить момент можно за счет использования системы автоматического регулирования загрузки ДВС [7,8].

На рисунке 7 представлена блок-схема алгоритма двухконтурной системы автоматиче-

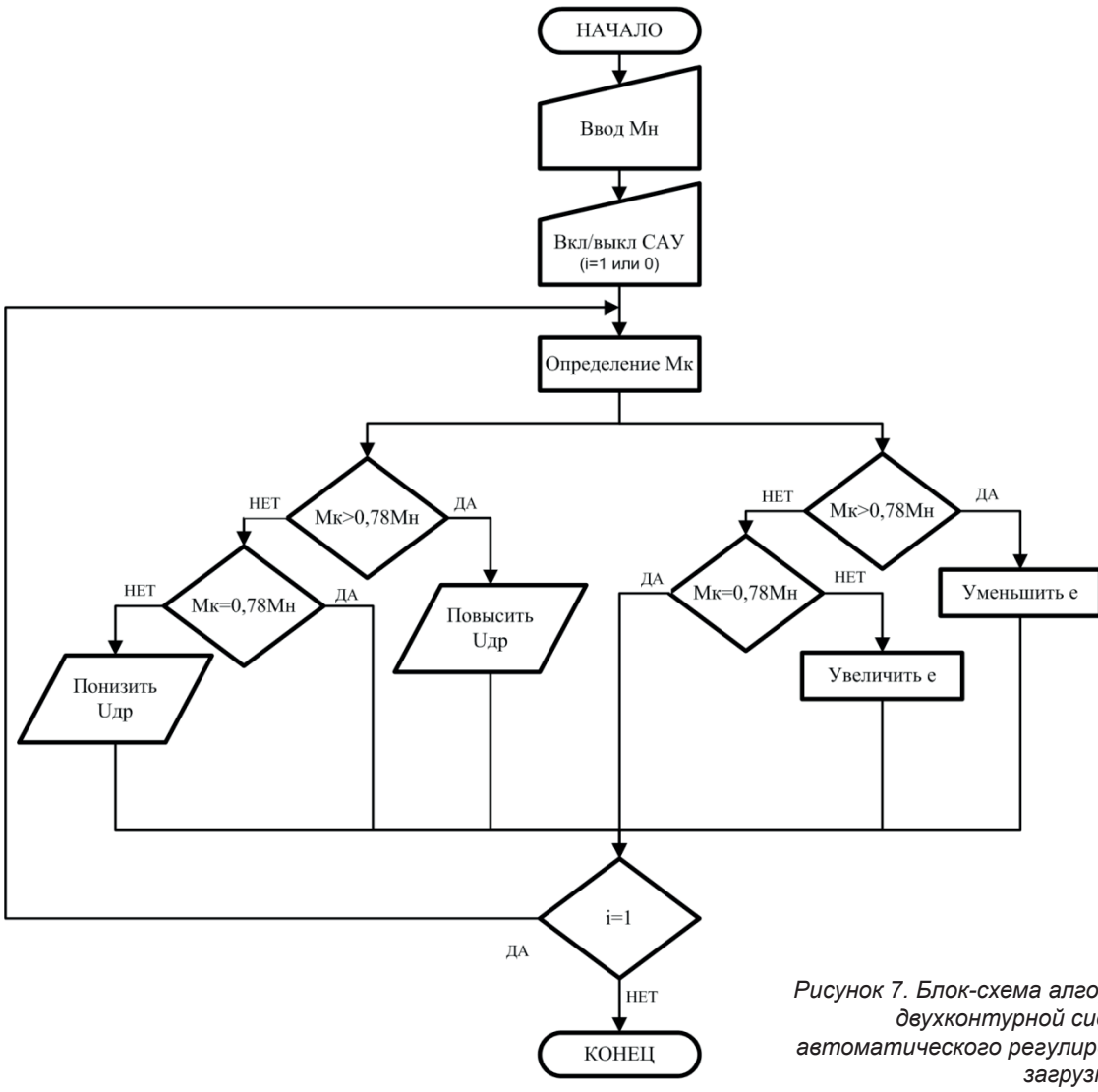

Рисунок 7. Блок-схема алгоритма двухконтурной системы автоматического регулирования загрузки ДВС

ского регулирования загрузки ДВС, состоящей из «грубого» и «точного» контуров.

Принцип действия «грубого» контура.

Перед включением системы необходимо задать номинальное значение крутящего момента ДВС (Мн). Затем оператор может включить систему (i=1) или выключить ее (i=0). Если система включена, то на каждом цикле при помощи датчика крутящего момента система определяет текущее значение крутящего момента на валу ДВС (Мк). Далее система проверяет условие Мк>0,78Мн. Если оно выполняется, то СУ повышает напряжение управления дроссельной заслонкой ($U_{ДР}$), если Мк<0,78Мн - то СУ понижает $U_{ДР}$.

Принцип действия «точного контура».

Перед включением системы необходимо задать номинальное значение крутящего момента ДВС (Мн). Затем оператор может включить систему (i=1) или выключить ее (i=0). Если система включена, то на каждом цикле при помощи датчика крутящего момента система определяет текущее значение крутящего момента на валу ДВС (Мк). Далее система проверяет условие Мк>0,78Мн. Если оно выполняется, то необходимо увеличить коэффициент регулирования насоса (е), что приведет к увеличению скорости перемещения машины и уменьшению крутящего момента. Если это условие не выполняется, то система проверяет условие Мк > 0,78Мн. Если условие выполняется, то система бездействует, если нет, то необходимо уменьшить коэффициент регулирования. Цикл будет повторяться до тех пор, пока оператор не выключит систему управления (i=0).

В результате анализа модели рабочего процесса ДФ, оснащенной СР загрузки ДВС, были получены графики зависимостей (рисунок 8-11).

Для зависимости крутящего момента на валу ДВС от пройденного дорожной фрезой пути математическое ожидание составило $\mu(M_к)$=966,4 Н·м при среднеквадратическом отклонении $\sigma_м$=29,9 Н·м; для графика зависимости часового расхода топлива от пройденного машиной пути - $\mu(G_e)$=40,3 кг/ч при σ_G=1,13 кг/ч; для графика зависимости производительности ДФ от пройденного пути - μ(П)=6,93 м³/ч при $\sigma_п$=0,23 м³/ч; для графика зависимости энергоэффективности дорожной фрезы от пройденного машиной пути - μ(Е)=0,172 м³/кг при $\sigma_Е$=0,0033 м³/кг.

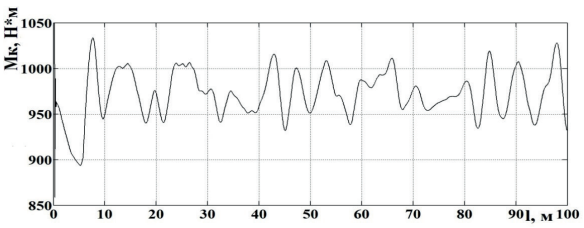

Рисунок 8. Зависимость крутящего момента на валу ДВС от пройденного машиной пути при использовании двухконтурной СР

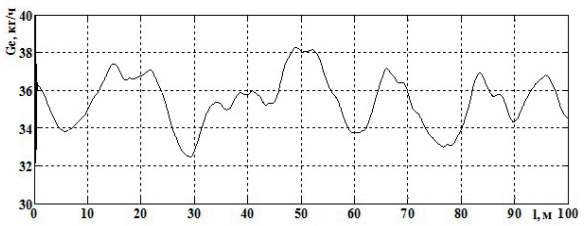

Рисунок 9. Зависимость часового расхода топливаот пройденного машиной пути при использовании двухконтурной СР

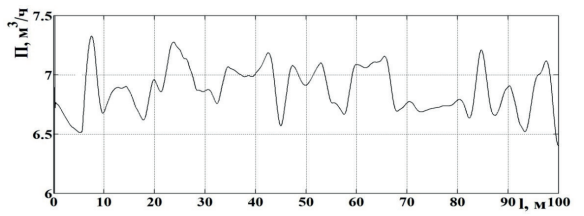

Рисунок 10. Зависимость производительности ДФ от пройденного машиной пути при использовании двухконтурной СР

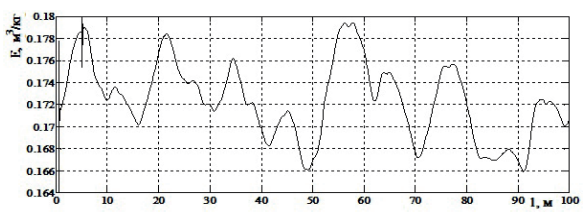

Рисунок 11. Зависимость энергоэффективности ДФ от пройденного машиной пути при использовании двухконтурной СР

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ математических моделей показал, что использование двухконтурной СР загрузки ДВС позволяет получить рациональное значение крутящего момента на валу ДВС, при этом увеличить производительность на 1,4 м³/ч. Часовой расход топлива при этом повышается на 4,5 кг/ч, а энергоэффективность рабочего процесса ДФ снижается. Это говорит о необходимости оптимизации параметров СР, что позволит избежать негативных последствий увеличения крутящего момента на валу ДВС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Краснолудский А.В. Определение рациональных параметров эксцентричной дорожной фрезы: Дис. ... канд. техн. наук.- Саратов, СГТУ, 2004. – 177 с.
2. Шерстнев Н.С. Расчет мощности силовой установки дорожной фрезы/ С.Д. Игнатов, Н.С. Шерстнев // Развитие дорожно-транспортного и строительного комплексов и освоение стратегически важных территорий. С 34 Сибири и Арктики: вклад науки : материалы Международной научно-практической конференции. – Омск :СибАДИ, 2014. −Кн. 2. - 79-81 с.
3. Служба 111 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://slugba111.ru/stati/chto-takoe-dorozhnaya-freza.html (дата обращения 05.03.2017)
4. Кузнецова В.Н. Анализ теории и практики работы дорожных фрез / В.Н. Кузнецова, Н.А. Кирюшкина // Фундаментальные и прикладные науки – основа современной инновационной системы: Материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Омск: СибАДИ, 2015. – 174-178 с.
5. Кокорин А.В. Математическая модель процесса управления рабочим органом дорожной фрезы // А.В. Кокорин, Р.Ю. Сухарев // Вестник Воронежского государственного технического университета. – Воронеж: «ВГТУ», 2009.– 147-149с.
6. Моделирование землеройно-транспортных машин в среде Matlab-Simulink: методические указания к выполнению лабораторных работ / сост.: В.С. Щербаков, А-й А. Руппель, И. В. Лазута, С. А.. Милюшенко. – Омск: СибАДИ, 2010. – 42 с.
7. Ульянов, Н. А. Теория самоходных колесных землеройно-транспортных машин [Текст] / Н. А. Ульянов. - М. : Машиностроение, 1969. - 520 с.
8. Крути мотор [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://krutimotor.ru (Дата обращения 05.03.2017)

ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS WORKING PROCESS MILLS ROAD WITH DESTRUCTION ASPHALT CONCRETE

S.D. Ignatov, N.S. Sherstnev

Abstract. *This article deals with the mathematical model of the working process of a road milling machine equipped with a system for controlling the loading of an internal combustion engine, the relationship between the torque on the shaft of the internal combustion engine, the hourly fuel consumption, the productivity of the road milling cutter, the energy efficiency from the traversed path without control systems and with a two-loop control system.*

Keywords: *road milling machine, control system, asphalt concrete, the internal combustion engine.*

REFERENCES

1. Krasnoludsky A.V. Opredelenie racionalnyh parametrov excentrichnoi dorojnoi frezi [Determination of rational parameters of eccentric road milling machine]. - Saratov, Saratov State Technical University, 2004, pp. 177.

2. Sherstnev N.S., Ignatov S.D. Calculation of engine power road cutters. Development of road transport and building complexes and development of strategically important areas. With 34 of Siberia and the Arctic: the contribution of science: materials of the International scientific and practical conference. – Omsk, SibADI, 2014, vol. 2, pp. 79-81.

3. Slugda 111 [Electronic resource]. Mode of access: http://slugba111.ru/stati/chto-takoe-dorozhnaya-freza.html (reference date 05/03/2017)

4. Kuznetsova V.N., Kiryushkina N.A. Analysis of the theory and practice of road milling machines. Fundamental and applied science – the Foundation of modern innovation system: Materials of international scientific-practical conference of students, postgraduates and young scientists, Omsk, SibADI, 2015, pp. 174-178.

5. Kokorin A.V., Sukharev R.Y. Mathematical model of the control system of working body road mill. Vestnik of Voronezh state technical University, 2009, pp. 147-149.

6. Shcherbakov V.S., Ruppel A.A., Lazuta I.V., Milyushenko S.A. Modelirovanie zemleroino-transportnyh mashin v srede Matlab-Simulink [Modeling of earth-moving machines in the environment Matlab-Simulink]. – Omsk, Siberian automobile and highway Academy, 2010, pp. 42.

7. Ulyanov N.A. Teoriya samohodnyh kolesnyh zemleroinu-transportnyh mashin [The theory of self-propelled wheeled Earthmovers]. – Moscow, Mechanical engineering, 1969, pp. 520 c.

8. Spin the motor [Electronic resource]. Mode of access: http://krutimotor.ru (accessed 05.03.2017)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Игнатов Сергей Дмитриевич (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов и электротехника» ФГБОУ ВО «СибАДИ».(644080, г. Омск, пр. Мира,5 e-mail: ISDAvvadon@mail.ru*).*

Sergey Ignatov (Omsk, Russia) – Ph.D., Associate Professor of the Department "Automation of production processes and Electrical Engineering" "SibADI." (644080, Omsk, Mira, 5 prospect e-mail: ISDAvvadon@mail.ru).

Шерстнев Никита Сергеевич (Омск, Россия) – аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов и электротехника» ФГБОУ ВО «СибАДИ».(644080, г. Омск, пр. Мира,5 e-mail: kashei_55rus@mail.ru).

Sherstnev Nikita (Omsk, Russia) – postgraduate student of the Department "Automation of production processes and Electrical Engineering" "SibADI." (644080, Omsk, Mira, 5 prospect e-mail: kashei_55rus@mail.ru).