

К.В. Фомин, А.И. Жигульская

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ МОМЕНТА НА РАБОЧЕМ ОРГАНЕ МАШИНЫ ГЛУБОКОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Получены выражения, позволяющие на стадии проектирования определять спектральную плотность момента нагружения на рабочем органе машины глубокого фрезерования при подготовке торфяной залежи к эксплуатации с учетом режимов работы, конструкции фрезы, а также параметров лесокустарниковой растительности, ее корневой системы при экспоненциальном распределении расстояний между корнями. Полученная информация служит исходным материалом для расчета вероятностных характеристик динамических нагрузок в элементах привода фрезерующего агрегата.

Ключевые слова: машина глубокого фрезерования, математическая модель, спектральная плотность, момент нагружения, динамические нагрузки.

При выполнении технологической операции машиной глубокого фрезерования происходит измельчение торфа совместно с произрастающей на поверхности лесокустарниковой растительностью, ее корневой системой и древесными включениями. При этом структурная неоднородность обрабатываемой среды, изменчивость ее физико-механических свойств, наличие локальных включений предопределяет резко переменный, случайный характер нагрузки на фрезу.

Для момента нагружения на рабочем органе можно записать [1]

$$M_0(t) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[M_T(t - t_{nm}; P_{nm}; \omega_\phi) + \sum_{s=1}^S M_s(t - t_{nm} - t_s; P_{snm}; \omega_\phi) \right], \quad (1)$$

где M – число плоскостей резания; n – номер импульса нагружения на m -й плоскости резания; $M_T(t)$, $M_s(t)$ – соответственно, функции описывающие моменты нагружения на ноже при резании торфа и при s -м акте взаимодействия с корнями; t_{nm} – момент возникновения n -го импульса нагрузки на m -й плоскости резания; P_{nm} , P_{snm} – соответственно, случайные параметры импульсов при резании торфа и корней; ω_ϕ – угловая скорость фрезы; s , S – соответственно, номер акта взаимодействия с корнем и общее их число в пределах угла контакта ножа с залежью; t_s – промежуток времени между началом взаимодействия ножа с залежью и s -м корнем.

Одной из основных характеристик случайного процесса является спектральная плотность [2] $S(\omega) = F(\omega) - 2\pi m^2 \delta(\omega)$, где $F(\omega)$ – энергетический спектр

$$F(\omega) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{2}{(2N+1)T_c} m_1 \left\{ \left| Z^{(k)}(\omega) \right|^2 \right\}, \quad (2)$$

$Z^{(k)}(\omega)$ – спектр k -ой реализации процесса; T_c – средний период повторности импульсов; N – число рассматриваемых импульсов; $m_1\{\}$ – знак усреднения; m – математическое ожидание; $\delta(\omega)$ – дельта-функция.

В настоящее время разработаны методы расчета вероятностных характеристик момента на рабочем органе машины глубокого фрезерования с учетом его взаимодействия с корневой системой лескустарниковой растительности при произвольном законе распределения параметров [1, 3]. В статье рассматривается определение спектральной плотности с учетом экспоненциального закона распределения расстояний между корнями.

При выводе выражения для спектральной плотности момента нагружения на фрезе с учетом случайного характера изменения угловой скорости воспользуемся методом рандомизации [2]. Считая величину угловой скорости фиксированной, определим спектральную плотность, далее усредним ее по угловой скорости.

Спектр момента нагружения (1) с учетом малого изменения угловой скорости в пределах угла контакта ножа с залежью равен:

$$Z_0(j\omega) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=-N}^N \frac{1}{\omega_\phi} \left[S_{0T} \left(j \frac{\omega}{\omega_\phi}; P_{nm} \right) + \sum_{s=1}^S S_{0s} \left(j \frac{\omega}{\omega_\phi}; P_{snm} \right) \exp(-j\omega t_s) \right] \times \exp \left(-j \frac{\omega}{\omega_\phi} \varphi_m \right) \exp \left(-j \frac{\omega}{\omega_\phi} n\varphi_T \right) \quad (3)$$

где $S_{0T}(j\omega)$, $S_{0s}(j\omega)$ – соответственно, спектры импульса момента нагружения при взаимодействии ножа торфом и одиночным корнем; φ_m – угол сдвига между ножами, находящимися в 1-й и m -й плоскостях резания; φ_T – угол между двумя соседними режущими элементами в плоскости резания.

Подставляя выражение (3) в (2), преобразуя и учитывая экспоненциальное распределение расстояний между корнями, получим выражение для спектральной плотности момента нагружения на рабочем органе

$$S_M(\omega) = S_K(\omega) + S_B(\omega) + S_T(\omega),$$

где $S_K(\omega)$ – спектральная плотность момента при взаимодействии с корневой системой

$$S_K(\omega) = \frac{2\tau\lambda_k}{T} \left[M\Psi_1(\omega) + \tau\lambda_k \sum_{r=-\infty}^{\infty} \Psi_2 \left(\frac{2\pi r}{\varphi_T} \right) \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^M \exp \left(-j \frac{2\pi r}{\varphi_T} (\varphi_m - \varphi_l) \right) \frac{\omega\varphi_T}{2\pi r^2} W \left(\frac{\omega\varphi_T}{2\pi r} \right) \right],$$

при $r \neq 0$, где T – средний период повторности импульсов нагружения на одной плоскости резания; τ – среднее время контакта ножа с залежью; λ – число корней взаимодействующих с режущим элементом в единицу времени $\lambda_k = \mu b V_p$, где μ – число корней приходящееся на единицу площади в сечении залежи вертикальной плоскостью; b – ширина режущего элемента; V_p – скорость резания; $W(\omega_\phi)$ – плотность распределения угловой скорости фрезы;

$$\Psi_1(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} m_1 \left\{ |S_{0s}(j\omega; P_s; \omega_\phi)|^2 \right\} W(\omega_\phi) d\omega_\phi$$

$$\Psi_2(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \left| m_1 \left\{ S_{0s}(\omega; P_s; \omega_\phi) \right\} \right|^2 \left| \theta_{is}(j\omega; \omega_\phi) \right|^2 W(\omega_\phi) d\omega_\phi;$$

$\theta_{ts}(j\omega)$ – характеристическая функция t_s , равная для экспоненциального распределения расстояний между корнями $\theta_{ts}(j\omega) = (\exp(j\omega\tau) - 1)/j\omega\tau$; $S_B(\omega)$ – сумма взаимных спектральных плотностей, моментов при взаимодействии с торфом и корневой системой

$$S_B(\omega) = \frac{2\tau\lambda_k}{T} \sum_{r=-\infty}^{\infty} \left[H_1\left(\frac{2\pi r}{\Phi_T}\right) + H_2\left(\frac{2\pi r}{\Phi_T}\right) \right] \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^M \exp\left(-j\frac{2\pi r}{\Phi_T}(\varphi_m - \varphi_l)\right) \frac{\omega\Phi_T}{2\pi r^2} W\left(\frac{\omega\Phi_T}{2\pi r}\right)$$

при $r \neq 0$, где введены обозначения

$$H_1(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\omega_\phi^2} m_1 \left\{ S_{0T}\left(j\frac{\omega}{\omega_\phi}; P\right) \right\} m_1 \left\{ S_{0s}^*\left(j\frac{\omega}{\omega_\phi}; P_s\right) \right\} \theta_{ts}\left(j\frac{\omega}{\omega_\phi}\right) W(\omega_\phi) d\omega_\phi,$$

$$H_2(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\omega_\phi^2} m_1 \left\{ S_{0s}\left(j\frac{\omega}{\omega_\phi}; P_s\right) \right\} m_1 \left\{ S_{0T}^*\left(j\frac{\omega}{\omega_\phi}; P\right) \right\} \theta_{ts}^*\left(j\frac{\omega}{\omega_\phi}\right) W(\omega_\phi) d\omega_\phi;$$

$S_T(\omega)$ – спектральная плотность момента на рабочем органе при взаимодействии с торфом, которая определяется с помощью методик [4, 5].

Спектральная плотность момента нагружения на рабочем органе служит исходной информацией для определения вероятностных характеристик динамических нагрузок в элементах привода машины глубокого фрезерования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фомин К.В., Жигульская А.И., Исаев Р.Г. Определение вероятностных характеристик момента нагружения на рабочем органе машины глубокого фрезерования при подготовке торфяной залежи к эксплуатации // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 9. – С. 36–42.
2. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.
3. Фомин К.В., Жигульская А.И. Расчет спектральной плотности момента нагружения на рабочем органе машины глубокого фрезерования на стадии проектирования // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2014. – № 5. – С. 70–84.
4. Самсонов Л.Н., Фомин К.В. Элементы статистической динамики торфяных фрезерующих агрегатов. Учебное пособие для вузов. – Тверь: ТГТУ, 2005. – 168 с.
5. Самсонов Л.Н., Фомин К.В. Определение вероятностных характеристик момента нагружения на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2003. – № 3. – С. 106–112. **ПЛАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Фомин Константин Владимирович – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, e-mail: Fomin_tver@mail.ru,

Жигульская Александра Ивановна – кандидат технических наук, доцент, e-mail: 9051963@gmail.com,

Тверской государственный технический университет.

THE DEFINITION OF THE SPECTRAL DENSITY OF THE MOMENT ON THE WORKING BODY OF THE MACHINE DEEP MILLING IN THE PREPARATION OF PEAT DEPOSITS EXPLOITATION

Fomin K.V.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Chair,

e-mail: Fomin_tver@mail.ru,

Zhigul'skaya A.I.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,

e-mail: 9051963@gmail.com,

¹ Tver State Technical University, 170026, Tver, Russia.

In the article the expressions, allowing at the design stage to determine the spectral density of the loading moment on the working body of the machine deep milling in the preparation of peat deposits to the operation considering the modes of operation, design cutters and root system with exponential distribution of distances between the roots. The information obtained serves as the starting material for the calculation of probabilistic characteristics of dynamic loads in the drive elements of milling aggregate.

Key words: machine deep milling, mathematical model, spectral density, loading moment, dynamic load.

REFERENCES

1. Fomin K.V., Zhigul'skaya A.I., Isaev R.G. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 9, pp. 36–42.
2. Levin B.R. *Teoreticheskie osnovy statisticheskoy radiotekhniki* (Theoretical foundations of statistical radio engineering), Moscow, Radio i svyaz, 1989, 656 p.
3. Fomin K.V., Zhigul'skaya A.I. *Nauka i obrazovanie: elektronnoe nauchno-tekhnicheskoe izdanie*. 2014, no 5, pp. 70–84.
4. Samsonov L.N., Fomin K.V. *Elementy statisticheskoy dinamiki torfyanykh frezeruyushchikh agregatov*. Uchebnoe posobie dlya vuzov (The elements of statistical dynamics of peat milling units. Higher educational aid), Tver, TGTU, 2005, 168 p.
5. Samsonov L.N., Fomin K.V. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*. 2003, no 3, pp. 106–112.



УМНАЯ КНИГА – ПРЕДМЕТ ПЕРВОЙ НЕОБХОДИМОСТИ

Я ТЕБЕ НЕ ВЕРЮ



Сказки пишут для души, ученые книги – для карьеры, медицинские справочники – чтобы не болеть. Но чтобы выпустить эти книги нужны деньги, и немалые

Невежество – мать подозрительности.

У. Олджер

В издательском деле цена качественной книги во много раз выше, чем примитивной халтуры. Образованный и думающий человек сумеет оценить вложенный в книгу труд, квалификацию редактора и дизайнера, качество полиграфии. Но таких внимательных умников немного. А большая часть заказчиков, читателей, книготорговцев обращают внимание на цену, заголовки, внешний вид книги, иногда на аннотации. Что же до авторов, то для них счастье – выход произведения, в которое они вложили частичку своего ума, знаний и души.

Но ведь кто-то должен квалифицированно оценивать качество книги. Чаще всего в малотиражном научно-техническом книгоиздании труд специалистов вынуждены оценивать инвестор издательского проекта, сами издатели-профессионалы и некоторые читатели. Бывает, выпускаешь хорошо написанную книгу, специалисты вкладывают в нее все силы, знания, изобретательность. А инвестор все равно не доволен: слишком дорого получилось.

Продолжение на с. 236