DOI: 10.17117/na.2016.12.02.154

<http://ucom.ru/doc/na.2016.12.02.154.pdf>

Поступила (Received): 30.12.2016

Фомин К.В., Крылов К.С., Харламов В.Е. **Оценка устойчивости работы двигателя** **трактора торфяного фрезерующего агрегата** **при выполнении технологической операции**

Fomin K.V., Krylov K.S., Harlamov V.E.
Estimation of stability of the work of a tractor engine of a peat
milling aggregate when performing technological operation

В статье рассмотрены вопросы анализа работы двигателя трактора, оценки его устойчивости с учетом динамических свойств торфяного фрезерующего агрегата, вида скоростной характеристики двигателя, случайного характера момента сопротивления на рабочем органе, а также специфической особенности формирования нагрузок

Ключевые слова: торфяной фрезерующий агрегат, случайная нагрузка, устойчивость двигателя

The paper deals with the analysis of the tractor engine, an estimation of its stability, taking into account the dynamic properties of the peat of the milling machine, the type of high-speed characteristics of the engine, the random nature of the moment of resistance at the working organ, as well as the specific features of formation of loads

Key words: peat milling aggregate, random load, tractor engine stability

Фомин Константин Владимирович

*Доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой
Тверской государственной технической
университет*

г. Тверь, Набережная Афанасия Никитина, 22

Fomin Konstantin Vladimirovich

*Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor,
Head of Department*

Tver state technical university

Tver, Afanasiy Nikitin embankment, 22

Крылов Константин Станиславович

*Кандидат технических наук, доцент
Тверской государственной технической
университет*

г. Тверь, Набережная Афанасия Никитина, 22

Krylov Konstantin Stanislavovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Tver state technical university

Tver, Afanasiy Nikitin embankment, 22

Харламов Вячеслав Евгеньевич

*Кандидат технических наук, доцент
Тверской государственной технической
университет*

г. Тверь, Набережная Афанасия Никитина, 22

Harlamov Vyacheslav Evgenjevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Tver state technical university

Tver, Afanasiy Nikitin embankment, 22

В процессе эксплуатации торфяных фрезерующих агрегатов нагрузка на рабочих органах имеет резко переменный, случайный характер, который обусловлен случайным изменением физико-механических свойств торфа, профиля

карты, глубины фрезерования, угловой скорости вращения рабочего органа, наличием древесных включений в залежи и многими другими факторами [1].

Известно [2, 3], что при работе в таких условиях энергетические показатели двигателя трактора резко ухудшаются, снижается устойчивость его работы. При выполнении технологической операции двигатель может заглохнуть, что приводит к ухудшению технико-экономических показателей работы агрегата и снижению его производительности.

Поэтому актуальным вопросом является разработка методов анализа работы двигателя, оценка его устойчивости еще на стадии проектирования фрезерующего агрегата.

При этом необходимо учитывать динамические свойства агрегата, вид скоростной характеристики двигателя, случайный характер момента сопротивления и специфическую особенность формирования нагрузок на рабочих органах [4, 5].

В [6, 7] было получено выражения для определения плотности распределения изменения угловой скорости вала двигателя $w(\omega_\partial)$ в процессе выполнения технологической операции торфяным фрезерующим агрегатом:

при $\omega_m > \omega_\partial > \omega_0$

$$w(\omega_\partial) = C \exp \left[\frac{2}{I_0 s} \left(c_0 \frac{\omega_\partial^3}{3} + b_0 \frac{\omega_\partial^2}{2} - (\bar{M}_c - a_0) \omega_\partial \right) \right];$$

при $\omega_n > \omega_\partial > \omega_m$

$$w(\omega_\partial) = C \exp \left[\frac{2}{I_0 s} \left(c_k \frac{\omega_\partial^3}{3} + b_k \frac{\omega_\partial^2}{2} - (\bar{M}_c - a_k) \omega_\partial \right) + A_0 - A_k \right];$$

при $\omega_x > \omega_\partial > \omega_n$

$$w(\omega_\partial) = C \exp \left[\frac{2}{I_0 s} \left(b_p \frac{\omega_\partial^2}{2} - (\bar{M}_c - a_p) \omega_\partial \right) + A_0 + A_n - A_k - A_p \right],$$

где

$$A_0 = \frac{2}{I_0 s} \left(c_0 \frac{\omega_m^3}{3} + b_0 \frac{\omega_m^2}{2} - (\bar{M}_c - a_0) \omega_m \right); \quad A_k = \frac{2}{I_0 s} \left(c_k \frac{\omega_m^3}{3} + b_k \frac{\omega_m^2}{2} - (\bar{M}_c - a_k) \omega_m \right);$$

$$A_n = \frac{2}{I_0 s} \left(c_k \frac{\omega_n^3}{3} + b_k \frac{\omega_n^2}{2} - (\bar{M}_c - a_k) \omega_n \right); \quad A_p = \frac{2}{I_0 s} \left(b_p \frac{\omega_n^2}{2} - (\bar{M}_c - a_p) \omega_n \right),$$

где ω_∂ – угловая скорость вала двигателя; I_0 – приведенный момент инерции двигателя и движущихся частей агрегата; $s \approx D_m / I_0^2$, где D_m – дисперсия момента сопротивления на рабочем органе; $\bar{M}_c(\omega_\partial)$ – среднее значение приведенного суммарного момента сопротивления на валу двигателя; a_0, b_0, c_0 – коэффициенты аппроксимации безрегуляторного участка характеристики; a_k, b_k, c_k – коэффициенты аппроксимации корректорного участка; a_p, b_p – коэффициенты, относящиеся к регуляторному участку;

$$a_0 = M_m + c_0 \omega_m^2; b_0 = -2c_0 \omega_m; c_0 = \frac{M_0 - M_m}{(\omega_0 - \omega_m)^2};$$

$$a_k = M_m + c_k \omega_m^2; b_k = -2c_k \omega_m; c_k = \frac{M_n - M_m}{(\omega_n - \omega_m)^2};$$

$$a_p = \frac{M_n \omega_x}{(\omega_x - \omega_n)}; b_p = -\frac{M_n}{(\omega_x - \omega_n)},$$

где M_n, ω_n – номинальное значение момента и угловой скорости двигателя; ω_x – угловая скорость на холостом ходу; M_m, ω_m – точка, соответствующая концу корректорного участка характеристики двигателя; M_0, ω_0 – крутящий момент и угловая скорость, соответствующая минимально устойчивому режиму работы двигателя.

Величина C определится из условия нормировки

$$C = \frac{1}{\int_{-\infty}^{\infty} w(\omega_d) d\omega_d}$$

Среднее значение приведенного суммарного момента сопротивления на валу двигателя $\bar{M}_c$ может быть получено с помощью известных методик [8] с учетом среднего момента на фрезе, усилий сопротивления перемещению рабочего органа, трактора и фрезерующего агрегата.

Дисперсия приведенного момента сопротивления на фрезе рассчитывается с помощью подходов, предложенных в [9, 10] для различных типов фрезерующих агрегатов с учетом взаимодействия с торфом и древесными включениями [11, 12].

Выражение для плотности распределения угловой скорости вала двигателя дает возможность на стадии проектирования учитывать влияние динамических свойств фрезерующего агрегата и характера нагрузок на технико-экономические показатели работы фрезерующего агрегата, такие, как средняя скорость передвижения, средний расход топлива, величина недоиспользования мощности двигателя.

Также может быть определена вероятность потери устойчивости работы двигателя P_g

$$P_g = \int_0^{\omega_0} w(\omega_d) d\omega_d.$$

Применение предложенного подхода проиллюстрируем на примере анализа работы двигателя СМД-62 (трактор Т-150) при агрегатировании с торфяным фрезерующим агрегатом.

Основные параметры скоростной характеристики двигателя [2]: $\omega_x=237,17$ рад/с; $\omega_n=225,13$ рад/с; $\omega_m=151,83$ рад/с; $\omega_0=62,82$ рад/с; $M_n=540$ Нм; $M_m=726$ Нм; $M_0=637,6$ Нм.

Приведенный момент инерции масс двигателя – 3,6 кгм²; приведенный момент инерции ведомых частей муфты сцепления – 0,177 кгм²; приведенный к

валу двигателя момент инерции вращающихся масс передачи трактора – 1,44 кгм².

Плотности распределения угловой скорости вала двигателя, полученные на основе расчета при различных величинах дисперсии момента сопротивления D_M (1 – $D_M = 500 \text{ Н}^2\text{м}^2$; 2 – $D_M = 2000 \text{ Н}^2\text{м}^2$; 3 – $D_M = 8000 \text{ Н}^2\text{м}^2$; 4 – $D_M = 32000 \text{ Н}^2\text{м}^2$) и среднем значении момента, равном 540 Нм, соответствующем номинальному значению момента по статической характеристике, представлены на рис. 1.

Рис. 1. Плотности распределения угловой скорости вала двигателя при различной дисперсии момента сопротивления на фрезе

На рис.2 показан график изменения вероятности неустойчивой работы двигателя P в зависимости от дисперсии приведенного момента сопротивления на фрезе при различных значениях среднего момента M_c (1 – $M_c = 500 \text{ Нм}$; 2 – $M_c = 540 \text{ Нм}$; 3 – $M_c = 580 \text{ Нм}$).

Рис. 2. Зависимость вероятности неустойчивой работы двигателя от дисперсии момента нагрузки

Плотность распределения, математическое ожидание и дисперсия угловой скорости вращения вала двигателя служат исходными данными для определения спектральных плотностей нагрузок на рабочем органе агрегата и движущего момента двигателя.

Предложенный подход дает возможность учитывать влияние динамических свойств двигателя трактора, фрезера и вероятностных характеристик нагрузки на рабочем органе на технико-экономические показатели работы фрезерующего агрегата на стадии проектирования.

Список используемых источников:

1. Самсонов Л. Н., Фомин К. В. Элементы статистической динамики торфяных фрезерующих агрегатов. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2005. 168 с.
2. Кутыков Г.М. Тяговая динамика трактора М.: Машиностроение, 1980. 215 с.
3. Лукьянчиков А.Н. Теоретико-экспериментальные основы агрегатирования машин торфяного производства: Дисс...докт. техн. наук. Тверь, 1999. 375 с.
4. Самсонов Л.Н., Фомин К. В. Анализ характера нагружения на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата // Развитие механики торфа и научных основ создания машин и оборудования торфяного производства. ТГТУ, 2001. С. 106–110.
5. Фомин К.В. Научные основы статистической динамики торфяных фрезерующих агрегатов: Дисс....докт. техн. наук. Тверь, 2002. 330 с.
6. Самсонов Л. Н., Фомин К. В. Оценка работы двигателя трактора при эксплуатации торфяного фрезерующего агрегата // Торф в решении проблем энергетики, сельского хозяйства и экологии 2006. С. 66–68.
7. Фомин К. В., Крылов К. С., Харламов В. Е. Методика оценки скоростной характеристики двигателя трактора торфяного фрезерующего агрегата при выполнении технологической операции // Труды Инстор-фа. 2016. № 14 (67). С. 33-40.
8. Солопов С. Г., Горцаколян Л. О., Самсонов Л. Н. Торфяные машины и комплексы М.: Недра, 1981. 415 с.
9. Фомин К.В. Моделирование и анализ момента нагружения на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2000. Т. 2. С. 222–226.
10. 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.
11. Фомин К.В. Моделирование нагрузки на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата при взаимодействии с древесными включениями // Сборник научных трудов молодых ученых ТГТУ Тверь, 1998. С. 51–54.
12. Фомин К.В. Анализ нагрузок на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата при взаимодействии с древесными включениями // Торфяная отрасль и повышение эффективности использования энергобиоресурсов материалы научно-практической конференции. 2000. С. 130–132.

© 2016, Фомин К.В., Крылов К.С., Харламов В.Е.

Оценка устойчивости работы двигателя трактора торфяного фрезерующего агрегата при выполнении технологической операции

© 2016, Fomin K.V., Krylov K.S., Harlamov V.E.

Estimation of stability of the work of a tractor engine of a peat milling aggregate when performing technological operation