© К.В. Фомин, К.С. Крылов, В.Е. Харламов, М.Б. Кушнир, Д.А. Узун, 2014

УДК 622.23.05:622.7

К.В. Фомин, К.С. Крылов, В.Е. Харламов, М.Б. Кушнир, Д.А. Узун

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ НАГРУЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИВОДА МАШИН ПОСЛОЙНО-ПОВЕРХНОСТНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Определены режимы нагружения машин поверхностного фрезерования на стадии проектирования с учетом взаимодействия рабочего органа с торфяной залежью, древесными включениями и динамических свойств привода. При этом использована предварительная информация о виде плотности распределения момента, полученная на основе экспериментальных исследований. Данные о режимах нагружения служат исходным материалом для прочностного расчета элементов привода и выбора его оптимальных параметров.

Ключевые слова: режим нагружения, случайные нагрузки, динамические нагрузки, привод фрезерующего агрегата.

В настоящее время при расчете на усталостную прочность различных элементов машин применяют методики, использующие понятие режима нагружения [1].

Анализ экспериментальных данных показывает, что плотность распределения момента нагружения в приводе машин послойно-поверхностного фрезерования с достаточной точностью для практических нужд аппроксимируется законом Вейбулла [2]. Соответственно, уравнение нагрузочного графика, построенного в порядке убывания нагрузок в относительных координатах, имеет вид:

$$P_0\left(M_i/M_{\max}\right) = \exp\left[-\left(\frac{M_i/M_{\max}}{a/M_{\max}}\right)^{\gamma}\right],$$

где a, γ – параметры распределения; $M_{\max}$ – максимальное значение момента.

Для коэффициента вариации момента нагружения в диапазоне $C = 0{,}05 \div 0{,}5$ при определении a, γ воспользуемся приближенными зависимостями [2]

$$\gamma = 3{,}765 - 1{,}09665\frac{\chi_3\chi_1}{\chi_2^2}, \quad a = \chi_1 \Big/ \Gamma\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right),$$

где χ_1, χ_2, χ_3 – первые три кумулянта момента нагружения; Г – гамма-функция.

Кумулянты суммарного момента с учетом фрезерования торфа и древесных включений для независимых случайных величин равны [2, 3]

$$\chi_r = \chi_{rT} + \chi_{rD},$$

где χ_{rT}, χ_{rD} – соответственно, кумулянты r-го порядка момента нагружения в приводе при фрезеровании торфа и древесных включений.

Для машин послойно-поверхностного фрезерования характерно взаимодействие одновременно большого числа режущих элементов с залежью. Поэтому в пределах длительности одиночного переходного процесса возникает большое число импульсов нагрузки. В этом случае момент нагружения в элементах привода близок к нормальному [3], соответственно для первых двух кумулянтов имеем

$$\chi_{1T} = m \quad , \quad \chi_{2T} = D \quad .$$

Значения математического ожидания m_T и дисперсия D_T нагрузок в элементах привода фрезерующего агрегата при взаимодействии рабочих органов с беспнистой залежью на стадии проектирования рассчитываются с помощью методик, предложенных в [3–6].

При взаимодействии фрезы с древесными включениями нагрузка представляет собой последовательность импульсов со случайными параметрами [3]. При этом каждый импульс является составным, состоящим из нескольких импульсов. Число их равно числу актов взаимодействия рабочего органа с одиночным древесным включением [3, 6]. Для определения кумулянтов момента нагружения в элементах привода фрезерующего агрегата в этом случае воспользуемся выражением, полученным в [7]

$$\chi_{rD} = \lambda \sum_{m=1}^{M} P_m \Upsilon_{rm}$$

где λ – число древесных включений, попадающих по ширине фрезерующего агрегата в единицу времени; M – число интервалов, на которые разбита плотность распределения размеров древесных включений $W(d)$

$$\Upsilon_{rm} = \int_{-\infty}^{\infty} M_i^r\left(d_m, t\right) dt \quad ; \quad P_m = \int_{d_m}^{d_{m+1}} W_d\left(y\right) dy \quad ,$$

где d_m, d_{m+1} – границы m-го интервала разбиения плотности распределения размеров древесных включений.

Для линейной модели привода машин поверхностного фрезерования [3, 5, 6] при малой длительности импульсов со стороны режущих элементов фрезы, для интегралов Y_{rm}, на основании методики [7], получим

$$\Upsilon_{1m} \approx C_i \sum_{\mu=1}^{M_{po}} \sum_{l=1}^{L_m} S_{\mu l} \sum_{p=1}^{P} \frac{a_{\mu p}\left(a_{ip} - a_{i+1;p}\right)}{M_p \omega_p^2} \quad ;$$

$$\Upsilon_{2m} \approx C_i^2 \sum_{\mu=1}^{M_{po}} \sum_{l=1}^{L_m} \sum_{\nu=1}^{M_{po}} \sum_{n=1}^{L_m} S_{\mu l} S_{\nu n} \sum_{p=1}^{P} \frac{a_{\mu p}^2\left(a_{ip} - a_{i+1;p}\right)^2}{M_p^2} \times$$

$$\times \frac{e^{-n_p T(n-l)}}{4 n_p \omega_p^{*2}} \left(\cos \omega_p T\left(n-l\right) + \frac{n_p}{\omega_p} \sin \omega_p T\left(n-l\right) \right) \quad ;$$

$$\Upsilon_{3m} \approx C_i^3 \sum_{\mu=1}^{M_{po}} \sum_{l=1}^{L_m} \sum_{\nu=1}^{M_{po}} \sum_{n=1}^{L_m} \sum_{\delta=1}^{M_{po}} \sum_{h=1}^{L_m} S_{\mu kl} S_{\nu mn} S_{\delta gh} \sum_{p=1}^{P} \frac{a_{\mu p}^3\left(a_{ip} - a_{i+1;p}\right)^3}{M_p^3 \omega_p^{*3}} \frac{e^{-n_p T(2l-n-h)}}{4 n_p} \times$$

$$\times\left(\cos\omega_p T\left(l-h\right)+\frac{n_p}{\omega_p}\sin\omega_p T\left(l-h\right)\right)\sin\omega_p T\left(l-n\right),$$

где C_i – жесткость i-го элемента привода; M_{p0} – число масс, к которым приложена нагрузка; $S_{\mu l}$ – импульсы нагрузок на рабочем органе при взаимодействии с древесными включениями, определяемые с помощью выражений, полученных в [3, 6, 7]; $a_{\mu p}$ – p-ая форма собственных колебаний μ-й массы, к которой приложен момент нагружения; P – число собственных частот динамической системы; a_{ip}, $a_{ip+1;p}$ – формы собственных колебаний масс, между которыми находится упругий элемент;

$$M_p = a_{1p}^2 I_1 + a_{2p}^2 I_2 + \ldots + a_{np}^2 I_n,$$

$$n_p = \frac{1}{M_p}\sum_{s;r=1}^{K}\beta_{sr}a_{sp}a_{rp}, \quad \omega_p^{*2} = \omega_p^2 - n_p^2,$$

где I_i – моменты инерции сосредоточенных масс; β_i – коэффициент неупругого сопротивления i-го элемента; a_{i1}, $a_{i;n-1}$ – формы собственных колебаний для 1-й и n–1-й частоты колебаний i-й массы системы; ω_p – p-ая собственная частота системы.

Число импульсов нагружения L_m и их период повторности T при взаимодействии с древесным включением размером d_m равны

$$L_m = \frac{d_m}{2R\sin\frac{\pi}{\Omega}}, \quad T = \frac{\phi_0}{\omega_\Phi} = \frac{2\pi}{\omega_\Phi\Omega},$$

где ω_Φ – угловая скорость вращения фрезы; Ω – число линий резания рабочего органа.

В качестве примера применения разработанной методики были рассчитаны режимы нагружения для вала отбора мощности (ВОМ) трактора ДТ-75 при работе с фрезером МТФ-14 (рисунок). При этом использовались модели взаимодействия рабочих органов с древесными включениями, представленные в [3–6] и данные о вероятностных характеристиках предельного напряжения сдвига, плотности торфа, глубины фрезерования, поверхностной пнистости полей добычи [8].

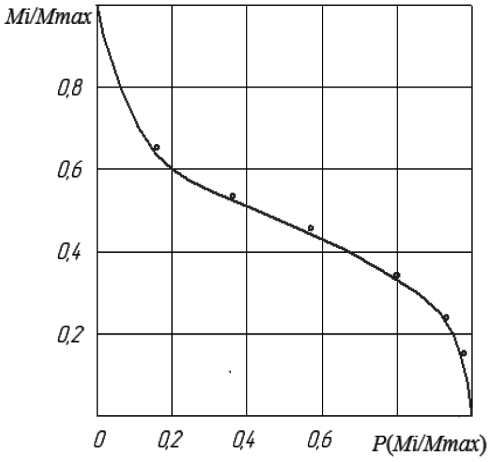

График нагрузки на ВОМ МТФ-14:

• – эксперимент [8]; ▬ – расчет

Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными, полученными в результате тензометрирования [8], говорит о том, что предложенные зависимости в целом правильно отображают характер и величину нагрузки в приводе и могут быть использованы в расчетной практике при проектировании машин послойно – поверхностного фрезерования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Решетов Д.Н., Иванов С.И., Фадеев В.З.* Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.

2. *Фомин К.В., Крылов К.С., Жигульская Е.Ю.* Оценка режимов нагружения элементов привода торфяных фрезерующих агрегатов на стадии проектирования // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 1. – С. 225–232.

3. *Фомин К.В.* Научные основы статистической динамики торфяных фрезерующих агрегатов: Дисс…докт. техн. наук. – Тверь: ТГТУ, 2002. – 330 с.

4. *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.

5. *Фомин К.В., Самсонов Л.Н.* Методика анализа динамических нагрузок в элементах привода торфяного фрезерующего агрегата // Вестник Тверского государственного технического университета. – 2002. – № 1. – С. 10–14.

6. *Самсонов Л.Н., Фомин К.В.* Методика анализа динамической нагруженности приводов торфяных машин послойно-поверхностного фрезерования // Горное оборудование и электромеханика. – 2004. – № 1. – С. 20–24.

7. *Фомин К.В., Крылов К.С., Жигульский Н.А., Фомин П.К.* Оценка режимов нагружения элементов привода торфяных фрезерующих агрегатов с использованием линейных моделей на стадии проектирования // Депонированная рукопись. Библиографическое описание опубликовано в «Горном информационно-аналитическом бюллетене» № 1, 2013 г. Справка № 936/01–13, от 1 ноября 2012 г. 19 с.

8. *Крылов К.С.* Разработка методов определения режимов нагружения приводов торфяных фрезерующих агрегатов на стадии проектирования: Дисс…канд. техн. наук. –Тверь: ТГТУ, 2010. – 153 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Фомин Константин Владимирович – доктор технических наук, доцент,
e-mail: fomin-tver@mail.ru
Крылов Константин Станиславович – кандидат технических наук, доцент,
e-mail: krylovks74@mail.ru
Харламов Вячеслав Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент,
Кушнир Михаил Борисович – аспирант,
Узун Дмитрий Афанасьевич – студент,
Тверской государственный технический университет.

UDC 622.23.05:622.7

THE DETERMINATION OF LOADING REGIMES OF ELEMENTS OF DRIVE MACHINES LAYER-BY-LAYER SURFACE MILLING AT THE DESIGN STAGE

Fomin K.V., Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, *e*-mail: fomin-tver@mail.ru
Krylov K.S., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, *e*-mail: krylovks74@mail.ru
Kharlamov V.E., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
Kushnir M.B., Graduate Student,
Uzun D.A., Student,
Tver State Technical University.

The article is devoted to determination of conditions of loading machines for surface operations at the design stage, taking into account the interaction of the working body with peat deposits and wood inclusions and dynamic properties of the drive. This takes into account the preliminary information about the form of

the distribution density of the moment, obtained on the basis of experimental data. Information about loading regimes serves as source material for strength calculation of the drive elements and selection of optimal parameters.

Key words: loading regime, random loads, dynamic loads, the drive of the milling assembly.

REFERENCES

1. Reshetov D.N., Ivanov S.I., Fadeev V.Z. *Nadezhnost' mashin* (Machine reliability), Moscow, Mashinostroenie, 1988, 240 p.

2. Fomin K.V., Krylov K.S., Zhigul'skaya E.Yu. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, 2013, no 1, pp. 225–232.

3. Fomin K.V. *Nauchnye osnovy statisticheskoi dinamiki torfyanykh frezeruyushchikh agregatov* (Scientific basis of statistical dynamics of peat milling machines), Doctor's thesis, Tver, TGTU, 2002, 330 p.

4. Samsonov L.N., Fomin K.V. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal,* 2003, no 3, pp. 106–112.

5. Fomin K.V., Samsonov L.N. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2002, no 1, pp. 10–14.

6. Samsonov L.N., Fomin K.V. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2004, no 1, pp. 20–24.

7. Fomin K.V., Krylov K.S., Zhigul'skii N.A., Fomin P.K. Otsenka rezhimov nagruzheniya elementov privoda torfyanykh frezeruyushchikh agregatov s ispol'zovaniem lineinykh modelei na stadii proektirovaniya (Estimate of loading conditions on drive units of peat milling machines using linear models at design stage), *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, Deposit manuscript, 2013, no 1, p. 184.

8. Krylov K.S. *Razrabotka metodov opredeleniya rezhimov nagruzheniya privodov torfyanykh frezeruyushchikh agregatov na stadii proektirovaniya* (Development of methods for estimating loading conditions on drives of peat milling machines at design stage), Candidate's thesis, Tver, TGTU, 2010, 153 p.

УМНАЯ КНИГА – ПРЕДМЕТ ПЕРВОЙ НЕОБХОДИМОСТИ

СТРУКТУРНАЯ ПЕРЕСТРОЙКА ОТЕЧЕСТВЕННОГО КНИГОИЗДАНИЯ

Отсутствие разумной системы в российском книгоиздании делает невозможным ее реформирование. Тем не менее, хаотичность может служить началом формирования нового порядка.

Не надо быть пророком, чтобы заметить, как динамично и стихийно идет реформирование отрасли книгоиздания. Одни издательства разоряются, другие меняют тематику выпускаемой литературы, сливаются и укрупняются, мечутся в поисках выгодных заказов. Такая хаотичная перестройка объясняется сменой приоритетов читателей, повышением требований к качеству книг, изменениями в жизни россиян. Если наши реформы станут следствием общественных процессов, да еще будут проходить с определенным запаздыванием, разорения продолжатся, а растерянные издатели никогда не прекратят стенания и жалобы на кризис, мало читающих граждан, отсутствие господдержки, другие «стихийные бедствия».

Отечественное книгоиздание стоит на пороге неизбежных реформ, но не собирается готовиться к переменам. Снижение покупательского спроса на книги, особенно примитив-ного содержания, должно бы насторожить издателей, но они списывают все неудачи на кризис.

Продолжение на с. 222