

**ИНСТИТУТ
ГОРНОГО
ДЕЛА
ИМЕНИ
А.А. СКОЧИНСКОГО**

**МЕТОДИКА
ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК В ЭЛЕМЕНТАХ
ПРИВОДА И НА ИСПОЛНИТЕЛЬНОМ
ОРГАНЕ ВЫЕМОЧНЫХ МАШИН
ПО МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ**

**МОСКВА
1968**

Министерство угольной промышленности СССР
Институт горного дела им. А. А. Скочинского

Лаборатория
научных основ импульсной
техники в горном деле

МЕТОДИКА
ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК В ЭЛЕМЕНТАХ
ПРИВОДА И НА ИСПОЛНИТЕЛЬНОМ
ОРГАНЕ ВЫЕМОЧНЫХ МАШИН
ПО МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ

Составители:
проф., докт. техн. наук
А. В. Докукин,
кандидаты технических наук
Ю. Д. Красников, Е. М. Шмарьян
инженеры
М. Я. Хайкин, З. Я. Хургин



Москва
1968

УДК 622.232;621-82

Редактор К.П.Титова

Т-01877

Тираж 500

Заказ № 3744

Ротапринтный цех Института горного дела им.А.А.Скочинского
1,2 печ.л. Подписано к печати 26/1 1968 г.

ВВЕДЕНИЕ

С момента появления первых работ по статистической динамике горных машин (см. раздел "Литература") интерес к этому направлению резко возрос. За последнее время методы статистической динамики находят все более широкое применение при исследованиях нагрузок на рабочих инструментах и исполнительных органах, динамики электро- и гидроприводов, нагруженности различных элементов горных машин (проходческих и угледобывающих комбайнов, стругов, буровых машин, экскаваторов и др.). Эти работы уже проводятся рядом лабораторий, кафедр и отделов научно-исследовательских, проектно-конструкторских и учебных институтов (ИГД им. А. А. Скочинского, КУЗНИУИ, Гипроуглегормашем, Гипроуглемашем, Донгипроуглемашем, ЦНИИподземшахтостроем, Гипронисэлектрощахтом и др.).

Накопленный нами опыт и результаты исследований по статистической динамике горных машин будут изложены систематически в подготовленной к печати монографии. Однако настоятельная необходимость в обработке все возрастающего потока экспериментального материала побудила нас выпустить в виде отдельной брошюры упрощенный вариант методики исследования нагрузок горных машин как случайных функций.

Предлагаемая методика позволяет получить экспериментальные статистические данные по нагрузкам на исполнительном органе, необходимые при создании новых машин.

В методике рассматривается определение только случайных составляющих нагрузок, так как определение неслучайных периодических составляющих нагрузок производится общеизвестным методом.

И. ОСЦИЛЛОГРАФИРОВАНИЕ В ШАХТНЫХ УСЛОВИЯХ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ИЛИ УПРУГОГО МОМЕНТА В ТРАНСМИССИИ

Осциллографирование упругого момента в трансмиссии представляет большие трудности. Эти трудности объясняются стесненными условиями проведения замеров, подвижностью объектов наблюдения, взрывоопасностью шахтной атмосферы, ее повышенной влажностью и т.д. Прямые методы тензометрирования нагрузок в некоторых элементах привода машин практически невозможны. Определение нагрузки на исполнительном органе также весьма затруднительно, так как не представляется возможным одновременное тензометрирование нагрузок на всех резцах, кулаках, скальвателях и других элементах исполнительного органа. Поэтому для выемочных машин, оборудованных электродвигателем, наиболее удобным является определение нагрузки в двигателе, так как для этого не требуется специальной тензооснастки, тензокабелей, а мощность может быть записана непосредственно с клемм пускателя.

II. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ОСЦИЛЛОГРАММ (РЕАЛИЗАЦИЙ) МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ИЛИ УПРУГОГО МОМЕНТА В ТРАНСМИССИИ

Статистическая обработка осциллограмм нагрузок проводится с целью определения математических ожиданий m , корреляционных функций $K(\tau)$ и спектральных плотностей $S(\omega)$ исследуемых нагрузок в такой последовательности:

1. По имеющейся длине записи T , задаваясь процентом погрешности n (примерно 2%), определяем низшую частоту спектра нагрузки ω_n ,

$$\omega_n = \frac{100}{T n}. \quad (I)$$

2. Анализируем осциллографическую запись и определяем рабочий диапазон частот путем выявления высшей частоты.

3. По низкой частоте спектра ω_n выбираем максимальную величину интервала τ_{max} корреляционной функции $K(\tau)$.

$$\tau_{max} \geq \frac{2\pi}{\omega_n}. \quad (2)$$

4. Шаг разбиения Δ реализации принимаем равным

$$\Delta = \frac{2\pi}{5\omega_s}, \quad (3)$$

где ω_s - высшая частота спектра.

5. Вычисление математического ожидания m_x и корреляционной функции $K_x(\tau)$ производится по формулам:

$$m_x = \frac{\sum_{v=0}^N x(v\Delta)}{N+1}, \quad (4)$$

$$K_x(\tau) = \frac{1}{N-M+1} \sum_{v=0}^{N-M} [x(v\Delta) - m_x] \cdot [x(v\Delta + M\Delta) - m_x], \quad (5)$$

где $M = 0, 1, 2, \dots$;

$v = 0, 1, 2, \dots$;

$\tau = M\Delta$.

Большой объем вычислений при статистической обработке реализаций случайных функций (нагрузок) приводит к необходимости применения цифровых вычислительных машин (ЭЦМ). Однако память цифровых машин типа "Раздан-2" позволяет обрабатывать не более 1500 чисел, поэтому длительность реализации T применительно к указанной вычислительной машине определяется выражением

$$T = \Delta \cdot 1500 = \frac{600\pi}{\omega_s}. \quad (6)$$

6. Полученные точки корреляционной функции нагрузки аппроксимируются совокупностью следующих выражений:

$$k(\tau) = D e^{-\alpha\tau} \cos \beta\tau, \quad (7)$$

$$k(\tau) = D e^{-\alpha\tau}, \quad (8)$$

которым соответствуют спектральные плотности

$$S(\omega) = \frac{D}{\pi} \left[\frac{\alpha}{\alpha^2 + (\omega + \beta)^2} + \frac{\alpha}{\alpha^2 + (\omega - \beta)^2} \right], \quad (9)$$

$$S(\omega) = \frac{2D}{\pi} \cdot \frac{\alpha}{\alpha^2 + \omega^2}. \quad (10)$$

III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ ПРИВОДА

В случае отсутствия экспериментальных данных можно рекомендовать для ориентировочного определения амплитудно-частотных характеристик элементов привода следующие формулы.

1. Для асинхронного двигателя (без учета многомассовости реальной системы привода)

$$\lambda(\omega) = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{рез}^2}\right)^2 + \frac{\omega^2 T_n}{\omega_{рез}^2 T_\theta}}}, \quad (II)$$

где $\omega_{рез}$ - частота собственных колебаний электродвигателя:

$$\omega_{рез} = \frac{1}{\sqrt{T_\theta T_n}} = \sqrt{\frac{2M_{кр}}{J}}, \quad (I2)$$

где $T_э$ - электромагнитная постоянная времени привода;

$$T_э = \frac{1}{\omega_c S_k} , \quad (I3)$$

где T_M - механическая постоянная времени привода;

$$T_M = \frac{\omega_c S_k J}{2\rho M_k} \approx \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{n_0 S_k}{2M_k} , \quad (I4)$$

где M_k - максимальный (опрокидной) момент электродвигателя;

S_k - критическое скольжение;

n_0 - синхронная скорость вращения;

ρ - число пар полюсов двигателя;

J - сумма момента инерции ротора двигателя и приведенных моментов инерции элементов привода.

С учетом (I3) и (I4) получим

$$\lambda(\omega) = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{рез}^2}\right)^2 + \frac{\omega^2 \omega_c^2 S_k^2}{\omega_{рез}^4}}} . \quad (I5)$$

В шахтных условиях M_k и S_k могут отличаться от паспортных данных. Корреляционный анализ момента двигателя позволяет определить фактическую частоту его собственных колебаний $\omega_{рез}$. Зная $\omega_{рез}$ из (I2), определяем M_k :

$$M_k = \frac{\omega_{рез}^2 J}{2\rho} . \quad (I6)$$

Реальное критическое скольжение S_k может быть определено из (15) при условии, что $\omega = \omega_{рез}$:

$$S_k = \frac{\omega_{рез}}{\lambda(\omega_{рез}) \omega_c} . \quad (I7)$$

Считая с достаточной для инженерной практики точностью спектральную плотность случайной составляющей нагрузки на исполнительном органе комбайна в области частот $0 - \omega_{рез}$ "белым шумом", определяем значение $S(\omega)_{ex}$ из выражения

$$S(\omega)_{ex} = \frac{S(\omega)_{вых}}{\lambda^2(\omega)} , \quad (I8)$$

где $S(\omega)_{вых}$ - спектральная плотность момента двигателя;
 $\lambda^2(\omega)$ - квадрат амплитудно-частотной характеристики двигателя.

Поскольку при $\omega = 0$ величина $\lambda^2(\omega)$ равна 1, то, определив $S(\omega)_{вых}$ при $\omega = 0$, тем самым устанавливаем значение спектральной плотности $S(\omega)_{ex}$

$$S(\omega)_{ex} = S(0)_{вых} . \quad (I9)$$

Из (I8) и (I9) определяется $\lambda(\omega_{рез})$.

$$\lambda(\omega_{рез}) = \sqrt{\frac{S(\omega_{рез})_{вых}}{S(0)_{вых}}} . \quad (20)$$

2. Для элементов трансмиссии

$$\lambda(\omega) = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{рез}^2}\right)^2 + \frac{4\eta^2 \omega^2}{\omega_{рез}^2}}} , \quad (21)$$

где $\omega_{рез}$ - частота собственных колебаний трансмиссии ($\omega_{рез} = \frac{2\pi}{T}$);
 T - период собственных колебаний трансмиссии ($T = \sqrt{\frac{J}{c}}$);
 J - момент инерции исполнительного органа;
 c - жесткость трансмиссии;
 n - декремент затухания колебаний в трансмиссии ($n = \xi \omega_{рез}$);
 ξ - коэффициент (для ориентировочных расчетов ξ принимается равным 0,2).

IV. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ НАГРУЗКИ НА ИСПОЛНИТЕЛЬНОМ ОРГАНЕ

Спектральная плотность нагрузки на исполнительном органе определяется таким образом:

1. Строится график спектральной плотности нагрузки в электродвигателе или в трансмиссии $S(\omega)_{вх}$ согласно полученным результатам в разделе I.

2. Строится график квадрата амплитудно-частотной характеристики исследуемого элемента привода $\lambda^2(\omega)$ согласно изложенному в разделе II.

3. Ординаты графика спектральной плотности $S(\omega)_{вх}$ делятся на ординаты графика амплитудно-частотной характеристики $\lambda^2(\omega)$. В результате получаем график спектральной плотности нагрузки на исполнительном органе $S(\omega)_{вк}$.

Следует отметить, что достоверность полученного графика $S(\omega)_{вк}$ ограничивается областью частот $0 - \omega_{рез}$. В связи с этим для определения параметров спектральной плотности следует придерживаться такого порядка.

1. В области достоверных значений спектральной плотности $S(\omega)_{вк}$ ($0 \leq \omega \leq \omega_{рез}$) определяются величины спектральной плотности нагрузки при частотах ω_1 и ω_2 по формуле (9).

2. Определяется значение квадрата амплитудно-частотной характеристики исследуемого элемента при выбранных частотах ω_1 и ω_2 по формуле (II) или (2I).

3. Определяется спектральная плотность нагрузки на исполнительном органе при тех же частотах ω_1 и ω_2 (I8).

4. Находятся дисперсия нагрузки $D_{вк}$ и декремент затухания α корреляционной функции нагрузки на исполнительном органе из системы уравнений:

$$\begin{cases} S(\omega_1)_{\epsilon x} = \frac{2D_{\epsilon x}}{\pi} \cdot \frac{\alpha}{\alpha^2 + \omega_1^2} \\ S(\omega_2)_{\epsilon x} = \frac{2D_{\epsilon x}}{\pi} \cdot \frac{\alpha}{\alpha^2 + \omega_2^2} \end{cases} \quad (22)$$

5. Проверяется правильность найденных значений $D_{\epsilon x}$ и α путем определения дисперсии нагрузки в приводе по аналитическому выражению:

$$D_{\text{вых}} = D_{\epsilon x} \frac{\alpha T + 2\xi}{2\xi(1 + 2\alpha T\xi + \alpha^2 T^2)}, \quad (23)$$

где α – декремент затухания корреляционной функции нагрузки, действующей на исполнительный орган машины;

T – период собственных колебаний исследуемого элемента;

ξ – коэффициент, который принимается равным для элементов трансмиссии 0,2, для асинхронного двигателя –

$$\xi = \frac{\omega_{\epsilon} S_{\epsilon}}{2\omega_{\text{рез}}}.$$

Подставляя в (23) найденные величины $D_{\epsilon x}$ и α , вычисляем дисперсию нагрузки в приводе $D_{\text{вых}}$. Если определенная величина дисперсии $D_{\text{вых}}$ равна ранее полученной в результате корреляционного анализа, то расчет на этом кончается.

В случае расхождения вычисленного значения нагрузки в приводе $D_{\text{вых}}$ (23) с фактическим значением следует последовательно менять дисперсию $D_{\epsilon x}$ в ту или иную сторону от полученной (значение α определяется из выражения $\frac{2D_{\epsilon x}}{\pi\alpha} = S(0)_{\epsilon x}$), пока вычисленное по этим выбранным $D_{\epsilon x}$ и α значение $D_{\text{вых}}$ (23) не совпадает с фактическим. Эти величины $D_{\epsilon x}$ и α принимаются за исходные параметры спектральной плотности нагрузки на исполнительном органе комбайна.

Приведенные выше рекомендации по определению нагрузки на исполнительном органе выемочной машины относятся к однорядной эквивалентной схеме. При разветвленных системах привода следует руководствоваться следующим.

Поскольку в работе в общем случае может находиться \mathcal{N} исполнительных органов, то элементы привода испытывают \mathcal{N} возмущающих воздействий.

Вероятностные характеристики суммарной нагрузки равны

$$\begin{aligned}
 m &= \sum_{i=1}^{\mathcal{N}} m_i, \\
 D &= \sum_{i=1}^{\mathcal{N}} D_i, \\
 K(\tau) &= \sum_{i=1}^{\mathcal{N}} K_i(\tau),
 \end{aligned}
 \tag{24}$$

где m_i — математическое ожидание нагрузки, действующей на i -й исполнительный орган;

D_i — дисперсия нагрузки, действующей на i -й исполнительный орган;

$K_i(\tau)$ — корреляционная функция нагрузки, действующей на i -й исполнительный орган.

Для этого для определения параметров спектральной плотности нагрузки на i -ом исполнительном органе необходимо знать соотношение величин дисперсий и математических ожиданий нагрузок на всех исполнительных органах. Это соотношение ориентировочно устанавливается, исходя из того что величины среднеквадратичного отклонения σ и математического ожидания m сил сопротивления разрушению исполнительным органом в первом приближении прямо пропорциональны сечениям снимаемых стружек.

Определив величину дисперсии $D_{\text{вкл}i}$, приходящуюся на общую дисперсию от i -го исполнительного органа, и зная амплитудно-частотную характеристику электродвигателя, находим параметры спектральной плотности нагрузки $D_{B \times i}$ и α_i . Например, выемочная машина имеет два исполнительных органа, у которых соотношение

среднеквадратичных отклонений нагрузок равно 1:2, а суммарная дисперсия нагрузок равна 100 (кГм)²

$$S(\omega)_{\text{вых}} = \frac{100}{\pi} \left[\frac{\alpha}{\alpha^2 + (\omega + \beta)^2} + \frac{\alpha}{\alpha^2 + (\omega - \beta)^2} \right].$$

В соответствии с вышесказанным определяем величины дисперсий нагрузок от каждого исполнительного органа. С этой целью решаем совместно два уравнения:

$$\begin{cases} D_{\text{вых}_1} + D_{\text{вых}_2} = D_{\text{вых}} = 100, \\ \frac{\sigma_{\text{вых}_1}}{\sigma_{\text{вых}_2}} = \frac{\sqrt{D_{\text{вых}_1}}}{\sqrt{D_{\text{вых}_2}}} = \frac{1}{2}, \end{cases} \quad (25)$$

откуда $D_{\text{вых}_1} = 20$ (кГм)², $D_{\text{вых}_2} = 80$ (кГм)². Следовательно, исходным выражением для определения спектральной плотности нагрузки на I-ом исполнительном органе будет:

$$S(\omega)_{\text{вых}_1} = \frac{20}{\pi} \left[\frac{\alpha}{\alpha^2 + (\omega + \beta)^2} + \frac{\alpha}{\alpha^2 + (\omega - \beta)^2} \right].$$

Возможен и другой метод определения нагрузок на исполнительном органе и в приводе выемочной машины. Как показали исследования, можно с достаточной для инженерной практики точностью считать спектральную плотность нагрузки, действующей на исполнительный орган, постоянной величиной в пределах частот нагрузки, проходящих в систему привода. В этом случае необходимо определить так называемую эффективную полосу пропускания $\omega_{\text{эф}}$ элементов привода, равную

$$\omega_{\text{эф}} = \int_0^{\infty} \lambda^2(\omega) d\omega, \quad (26)$$

где $\lambda(\omega)$ – амплитудно-частотная характеристика рассматриваемого элемента привода.

Для элементов трансмиссии

$$\omega_{\text{эф}} = \int_0^{\infty} \frac{d\omega}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{\text{рез}}^2}\right) + \frac{0,16\omega^2}{\omega_{\text{рез}}^2}} = \frac{\pi \omega_{\text{рез}}}{0,8}. \quad (27)$$

Для асинхронного электродвигателя

$$\omega_{\text{эф}} = \int_0^{\infty} \frac{d\omega}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{\text{рез}}^2}\right) + \frac{\omega^2 \omega_c^2 S_k^2}{\omega_{\text{рез}}^4}} = \frac{\pi \omega_{\text{рез}}^2}{\omega_c S_k}. \quad (28)$$

При постоянной величине спектральной плотности $S(\omega)_{\text{вх}} = N$ в соответствии с (18) спектральная плотность нагрузки в приводе равна

$$S(\omega)_{\text{вых}} = N \lambda^2(\omega), \quad (29)$$

а дисперсия нагрузки $D_{\text{вых}}$ определяется из следующего выражения:

$$D_{\text{вых}} = \int_0^{\infty} S(\omega)_{\text{вых}} d\omega. \quad (30)$$

Подставляя в (30) выражение (29) и учитывая (26), получим:

$$D_{\text{вых}} = N \omega_{\text{эф}}. \quad (31)$$

Следовательно, дисперсия нагрузки в любом элементе привода равна произведению спектральной плотности нагрузки на исполнительном органе на эффективную полосу пропускания исследуемого элемента. Это позволяет достаточно просто вычислять спектральную плотность нагрузки на исполнительном органе, зная величину дисперсии $D_{внх}$. Из формулы (31) имеем

$$N = \frac{D_{внх}}{\omega_{эф}} \quad (32)$$

Математическое ожидание нагрузки на исполнительном органе m_{ex} находится из выражения

$$m_{ex} = m_{внх} i \eta, \quad (33)$$

где $m_{внх}$ — математическое ожидание нагрузки, определенное в результате статистической обработки осциллограммы момента двигателя;

i — передаточное число между двигателем и исполнительным органом;

η — к.п.д. системы.

У. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАГРУЗОК В ЭЛЕМЕНТАХ ПРИВОДА ВЫЕМОЧНЫХ МАШИН

Величина дисперсии в интересующем элементе привода определяется согласно (23). Для этого требуется знание $D_{вх}$ и α корреляционной функции нагрузки на исполнительном органе, вычисленных в разделе IV, и периода собственных колебаний T этого элемента, определяемого согласно данным в разделе III. Возможно определение дисперсии нагрузки в элементе привода непосредственно через спектральную плотность нагрузки в двигателе и взаимно-частотную характеристику между двигателем и трансмиссией. Величина математического ожидания в том же элементе привода находится из соотношения аналогичного (33). Конечной целью расчета является построение диаграммы плотности распределения нагрузки.

Если разрушаемый исполнительным органом массив угля имеет включения, то необходимо отдельно рассматривать воздействия од-

нородной части массива и его включений, а затем суммировать полученные в результате этих воздействий распределения нагрузок в данном элементе привода, применив принцип суперпозиции. Количество и крепость включений отражаются на коэффициенте асимметрии S и эксцессе E плотности распределения результирующей нагрузки $W(x)$ в данном элементе привода и могут быть учтены по экспериментальным материалам

$$S = \frac{M[(x-m_x)^3]}{\sigma_x^3} , \quad (34)$$

$$E = \frac{M[(x-m_x)^4]}{\sigma_x^4} - 3 . \quad (35)$$

Вследствие линейности характеристик привод выемочной машины нормализует плотность распределения нагрузок в элементах привода по сравнению с плотностью распределения нагрузок на исполнительном органе. Это позволяет считать, что нагрузки в элементах привода имеют близкий к нормальному закон распределения, которому соответствует плотность распределения:

$$W(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}} , \quad (36)$$

где σ_x - среднеквадратичное отклонение нагрузки;
 m_x - математическое ожидание нагрузки.

Основным требованием к записывающей аппаратуре следует считать обеспечение неискаженной записи всего спектра частот действующих нагрузок в исследуемых элементах горной машины.

Корреляционный анализ нагрузок в приводе выемочных машин показывает, что случайные составляющие нагрузок состоят из двух групп слагаемых - высокочастотных и низкочастотных.

Высокочастотные слагаемые (свыше 0,5 колебания на 1 метре траектории) определяются микроструктурой разрушаемых горных пород и физикой процесса разрушения. Их корреляционные функции выражаются формулой $\kappa(\tau) = De^{-\alpha\tau} \cos \beta\tau$.

Низкочастотные слагаемые определяются макроструктурой разрушаемых горных пород и могут быть выявлены лишь при изучении нагрузок в течение длительного времени (нескольких часов). Их корреляционные функции имеют вид: $\kappa(\tau) = De^{-\alpha\tau}$.

Запись мгновенной активной мощности двигателя выемочных машин с помощью преобразователя мощности на эффекте Холла практически осуществима в настоящее время лишь в течение 2-3 мин. по техническим причинам (во-первых, при записи мощности даже в течение 1 часа потребовалось бы 360 м осциллографической ленты, во-вторых, вычислительные машины могут обрабатывать осциллограммы мощности, записанные с помощью преобразователя мощности за время, не превышающее 1 мин.). Для выявления низкочастотных составляющих нагрузок, связанных, в первую очередь, с неоднородностью свойств горных пород по длине забоя, необходима запись мощности самопишущими киловаттметрами в течение 4-8 час. Следует отметить, что киловаттметр, будучи инерционным прибором, позволяет записывать нагрузки с частотой не свыше 0,1 - 0,3 гц. Для выявления всего спектра нагрузок наряду с длительной записью мощности киловаттметром следует периодически осциллографировать мгновенную мощность с помощью преобразователя мощности на эффекте Холла.

Осциллографирование мощности двигателя и электротензометрирование нагрузок в трансмиссии ряда выемочных машин (К101, КС2Ш, БК101, БКТ, ШБМ-2, ПК-8, ПК-10 и др.) показали, что из всего спектра нагрузок действующего на исполнительный орган (примерно 0-300 гц), в привод трансформируются нагрузки с частотой, не превышающей 30-35 гц.

Экспериментальное определение амплитудно-частотных характеристик привода выемочных машин может быть осуществлено с помощью специального вибратора или методом свободных колебаний в стелловых условиях. Однако выявление всего спектра действующих нагрузок позволяет определять амплитудно-частотные характеристики по шахтным осциллограммам мгновенных значений нагрузок в двигателе или в трансмиссии. Для этого после аппроксимации графика корреляционной функции нагрузки, полученного в результате обработки соответствующей осциллограммы, выражением

$$K(\tau) = \sum_{i=1}^n D_i e^{-\alpha_i \tau} \cos \beta_i \tau + \sum_{j=1}^m D_j e^{-\delta_j \tau} + \sum_{k=1}^l D_k \cos \beta_k \tau$$

выделяем из него первое слагаемое, соответствующее высокочастотным составляющим спектра нагрузок, и отбрасываем слагаемые, соответствующие низкочастотным и периодическим (неслучайным) составляющим. Затем определяем спектральную плотность высокочастотных составляющих $S(\omega)$ и ее значение при нулевой частоте $S(\omega_0)$. Наконец, считая случайные составляющие нагрузок на исполнительном органе "белым шумом" в диапазоне частот 1-35 гц, определяем квадрат амплитудно-частотной характеристики рассматриваемого элемента привода путем деления спектральной плотности $S(\omega)$ на ее значение при $\omega = 0$.

Амплитудно-частотная характеристика привода между двигателем и трансмиссией может быть получена по результатам электротензометрирования нагрузок в трансмиссии и осциллографирования мгновенной мощности двигателя по формуле

$$\lambda(\omega) = \sqrt{\frac{S(\omega)_{\text{дв}}}{S(\omega)_{\text{тр}}}}$$

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Д о к у к и н А. В., К р а с н и к о в Ю. Д. Экспериментальное исследование нагрузки на исполнительном органе горных машин. Изд. ИГД им. А.А.Скочинского, 1966.

2. Д о к у к и н А. В., К р а с н и к о в Ю. Д., Х у р г и н Э.Я. Определение расчетных нагрузок в элементах привода по нагрузкам на исполнительном органе. Краткий научный отчет. Изд. ИГД им.А.А.Скочинского, 1966.

3. Д о к у к и н А. В., К р а с н и к о в Ю. Д., Х у р г и н Э.Я., Ш м а р ь я н Е. М. Аналитические основы расчета выемочных машин."Наука", 1966.

4. Д о к у к и н А. В., К р а с н и к о в Ю. Д., Ш м а р ь я н Е.М. Динамические усилия в приводе исполнительного органа проходческого комбайна. ЦНИИТЭИ угля "Горные машины и автоматика", № II, 1966.

5. К р а с н и к о в Ю. Д., Ш м а р ь я н Е. М. Применение методов теории случайных функций для исследования динамики проходческого комбайна. ЦНИИТЭИ угля "Горные машины и автоматика" № 2, 1966.

6. К р а с н и к о в Ю. Д., Ш м а р ь я н Е. М. Определение нагрузок на исполнительный орган проходческой машины непрерывного действия. ЦНИИТЭИ угля "Горные машины и автоматика", № 3, 1966.

7. К р а с н и к о в Ю. Д. Формирование нагрузок в приводе выемочных машин. Известия вузов, "Горный журнал", № 5, 1965.

8. Г л а т м а н Л. Б., К р а с н и к о в Ю. Д., Ш м а р ь я н Е.М. Характер корреляционных функций усилий при разрушении пород штыревыми шарошками.ЦНИИТЭИ угля "Проектирование и строительство угольных предприятий", № 8, 1966.

9. Г л а т м а н Л. Б., К р а с н и к о в Ю. Д., Ш м а р ь я н Е.М. Применение методов теории случайных функций для изучения процесса разрушения горных пород шарошечным инструментом. "Наука", 1966.

10. Ш м а р ь я н Е. М. О применении методов теории вероятностей к определению величины и характера нагрузок на исполнительный орган проходческого комбайна. ЦНИИТЭИ угля "Проектирование и строительство угольных предприятий", № II, 1965.

11. Ш м а р ь я н Е. М. Исследование динамических процессов в приводе исполнительного органа проходческого комбайна. "Материалы IУ конференции молодых ученых". Сборник П. Изд. ИГД им. А.А.Скочинского, 1966.

12. К р а с н и к о в Ю. Д., Ш м а р ь я н Е. М. Экспериментальное определение усилий в приводе комбайна ШБМ-2. "Угольное и горнорудное машиностроение", НИИинформтяжмаш, 2-67-9.

13. Петухов Н. Н., Черемных М. И., Шмарьян Е. М. Исследование характера взаимодействия рабочего органа горнопроходческих машин с породным забоем. ЦНИИТЭИугля "Проектирование и строительство угольных предприятий", № 4, 1966.

14. Красников Ю. Д., Масович Ф. З., Хайкин М. Я., Хургин З. Я. "Тензометрические исследования комбайна КЮО. "Угольное и горнорудное машиностроение", НИИинформтяжмаш, 2-67-9.

15. Красников Ю. Д., Хайкин М. Я. Корреляционный и спектральный анализ нагрузок в приводе выемочных комбайнов. НИИинформтяжмаш, 2-67-9.