

УДК 630\*.377.44

А. И. Павлов

## МЕТОДИКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГИДРОПРИВОДОВ ЛЕСОСЕЧНЫХ МАШИН

*Описана методика диагностирования гидроприводов лесных машин в процессе их использования по функциональному назначению на примере сучкорезной машины. Методика основана на использовании характеристик случайного процесса, получаемых при взаимодействии рабочих органов машины с предметом труда – деревом. Получены нормированные спектральные плотности нагруженности гидроприводов сучкорезной машины при обработке деревьев при различной наработке машины, по смещению максимумов которых судят о техническом состоянии гидроприводов.*

**Ключевые слова:** гидроприводы, методы диагностирования, надежность, лесозаготовительные машины.

**Введение.** В настоящее время в лесной промышленности нашли применение методы тестового диагностирования элементов гидропривода лесозаготовительных машин, основанные на создании специальных импульсных воздействий на гидропривод с целью получения переходных характеристик, анализ которых позволяет определить их техническое состояние [1]. Однако данные методы можно использовать только при техническом обслуживании или ремонте машин.

**Целью** работы является обоснование метода диагностирования гидроприводов лесных машин в процессе их работы по назначению. Для этого поставлены следующие **задачи**: описать методику определения нагруженности гидроприводов лесных машин с использованием методов статистической динамики, определить степень влияния на диагностические параметры объемов и породы деревьев, а также степени износа элементов гидропривода при эксплуатации машины.

Объектом исследования выбран гидропривод сучкорезной головки широко распространенной в лесных регионах России машины ЛП-30Г, подверженный значительным нагрузкам и на долю которого приходится большое количество отказов. На рис. 1 представлен фрагмент осциллографической записи нагруженности гидропривода, который показывает, что в нем возникает случайный процесс с непрерывным изменением аргумента. Поэтому при обработке осциллограмм были использованы характеристики случайного процесса.

На основании структурной схемы гидропривода составлена эквивалентная расчетная схема, включающая все его элементы – насос, гидрораспределитель, рукава высокого давления, гидродвигатель. Значения числовых статистических характеристик определялись по известным формулам, приведенным в работах [2–4]. При обработке непрерывной реализации случайного процесса значения корреляционной функции  $R_{x(t)}$  определены по формуле [2]

$$R_{x(t)} = \frac{1}{T - \tau} \int_0^{T-\tau} x(t) \cdot x(t+\tau) dt, \quad (1)$$

где  $T$  – длительность непрерывной реализации случайного процесса;  $x_{\tau}$  и  $x_{\tau+\tau}$  – центрированные значения функции  $x(\tau)$  и  $x(\tau+\tau)$ .

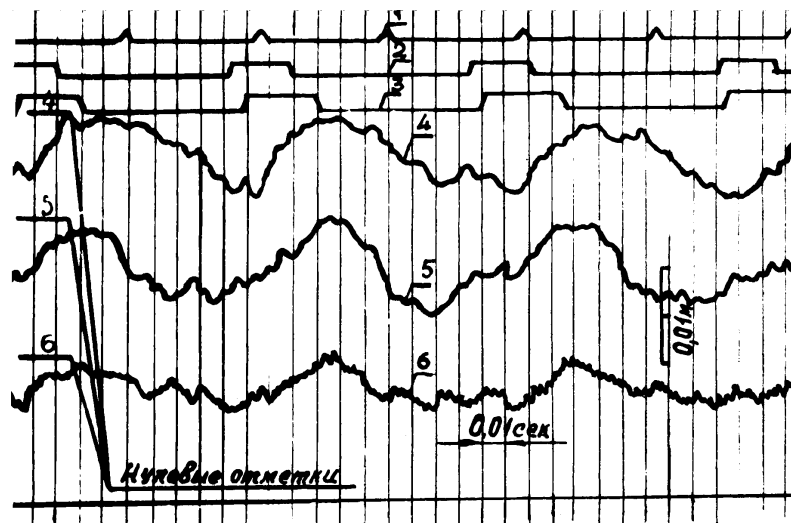


Рис. 1. Изменение давления в гидродвигателе сучкорезной головки машины ЛП-30Б при обработке дерева диаметром 0,40 м: 1-3 – отметчики частоты вращения вала насоса, углов поворота левого и правого блоков протаскивающего устройства; 4-6 – изменение давления в напорной линии боковых ножей, верхнего ножа и ножей приемной головки

В действительности, при подготовке первичной информации производится дискретное считывание ординат случайного процесса. В этом случае корреляционная функция определяется выражением

$$R_{x(\tau)} = \frac{1}{N-m} \sum_{i=1}^{N-m} x_i \cdot x_{i+m}, \quad (2)$$

где  $N$  – количество ординат, дискретно считываемых с осциллографической записи случайного процесса;  $m$  – число, определяющее величину сдвига по оси абсцисс ( $m = 1, 2, 3, 4, \dots$ );  $x_i$  – текущее значение центрированной ординаты реализации случайного процесса в момент времени  $t_i$ ;  $x_{i+m}$  – значение центрированной ординаты процесса в момент  $t_{i+m}$ .

При исследованиях случайных процессов в элементах динамических систем можно использовать нормированную корреляционную функцию  $\rho_{x(\tau)}$ , которая определяется по выражению

$$\rho_{x(\tau)} = \frac{R_{x(\tau)}}{R_{x(0)}}. \quad (3)$$

Опыт исследования случайных процессов [2–4] показывает, что в общем случае с необходимой степенью точности график корреляционной функции может быть аппроксимирован выражением

$$\rho_{x(\tau)} = \sum_{i=1}^n A_i \cdot e^{-\alpha_i |\tau|} \cdot \cos \beta_i \cdot \tau, \quad (4)$$

где  $\alpha_i$  – коэффициенты, характеризующие затухание;  $\beta_i$  – коэффициенты, характеризующие колебательный процесс. В данном случае  $\sum_{i=1}^n A_i = 1$ .

Применительно к аппроксимирующему выражению (4) для корреляционной функции соответствующая спектральная плотность определяется соотношением

$$S_{\omega} = \frac{2}{\pi} \left[ \sum_{i=1}^n \frac{A_i \cdot \alpha_i (\alpha_i^2 + \beta_i^2 + \omega^2)}{\omega^2 - \alpha_i^2 - \beta_i^2 + 4\alpha_i^2 \cdot \omega^2} \right], \quad (5)$$

где  $\omega$  – частота процесса,  $c^{-1}$ .

Примеры графиков нормированных корреляционных функций нагруженности гидропривода, построенных по результатам расчета на ЭВМ, показаны на рис. 2–4, на которых сплошной линией обозначен гидрораспределитель, пунктирной – гидроцилиндр бокового ножа, штрих-пунктирной – гидроцилиндр верхнего ножа.

Графики нормированных корреляционных функций с требуемой точностью аппроксимированы выражением вида

$$\rho_{x(\tau)} = A_1 \cdot e^{-\alpha_1|\tau|} \cdot \text{Cos}\beta_1 \cdot \tau + A_2 e^{-\alpha_2|\tau|} \cdot \text{Cos}\beta_2 \cdot \tau. \quad (6)$$

Значения коэффициентов аппроксимации показаны в таблице.

**Коэффициенты аппроксимации нормированных корреляционных функций**

Место установки датчиков давления (место замера)	Коэффициенты аппроксимации					
	$A_1$	$A_2$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\beta_1$	$\beta_2$
Диаметр 0,30 м						
Гидрораспределитель	0,3	0,7	1,24	4,6	6,04	46,2
Гидроцилиндр бокового ножа	0,3	0,7	0,88	8,55	6,28	43,6
Гидроцилиндр верхнего ножа	0,35	0,65	0,32	5,87	6,54	43,6
Диаметр 0,35 м						
Гидрораспределитель	0,4	0,6	1,63	3,19	3,57	52,3
Гидроцилиндр бокового ножа	0,15	0,85	2,78	12,4	7,85	46,2
Гидроцилиндр верхнего ножа	0,3	0,7	1,61	6,16	4,61	49,1
Диаметр 0,40 м						
Гидрораспределитель	0,27	0,73	8,73	5,28	9,8	65,4
Гидроцилиндр бокового ножа	0,30	0,70	8,70	8,97	9,50	65,4
Гидроцилиндр верхнего ножа	0,29	0,71	8,71	6,99	9,60	65,3

Графики корреляционных функций характеризуют изменения исследуемых процессов во времени. Особую важность представляют характеристики частотного состава процесса – спектральные плотности.

Спектральные плотности нагруженности исследуемого гидропривода определялись по формуле

$$S_{\omega} = \frac{2}{\pi} \left[ A_1 \frac{\alpha_1 (\alpha_1^2 + \beta_1^2 + \omega^2)}{\omega^2 - \alpha_1^2 - \beta_1^2 + 4\alpha_1^2 \omega^2} + A_2 \frac{\alpha_2 (\alpha_2^2 + \beta_2^2 + \omega^2)}{\omega^2 - \alpha_2^2 - \beta_2^2 + 4\alpha_2^2 \omega^2} \right]. \quad (7)$$

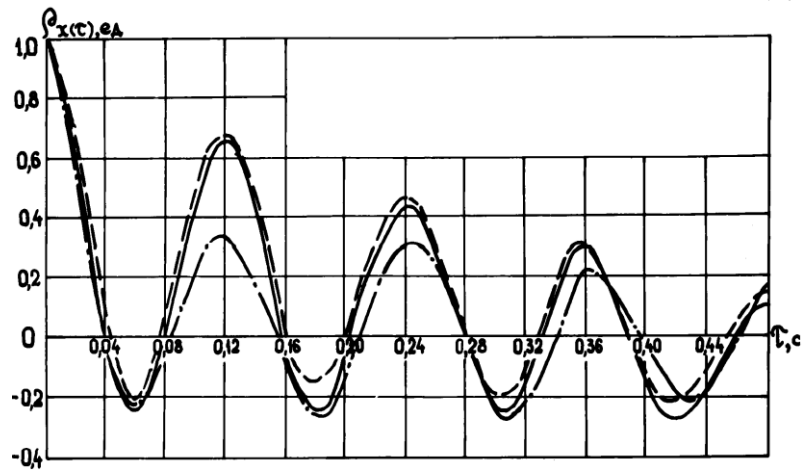


Рис. 2. Нормированные корреляционные функции нагруженности гидропривода при обработке дерева диаметром 0,40 м

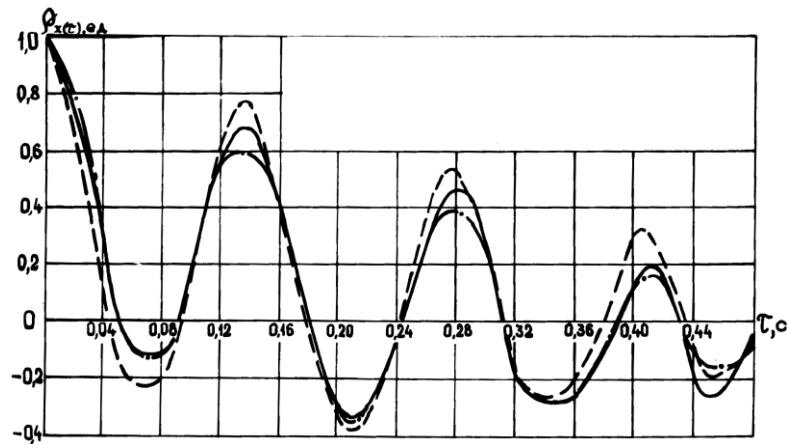


Рис. 3. Нормированные корреляционные функции нагруженности гидропривода при обработке дерева диаметром 0,35 м

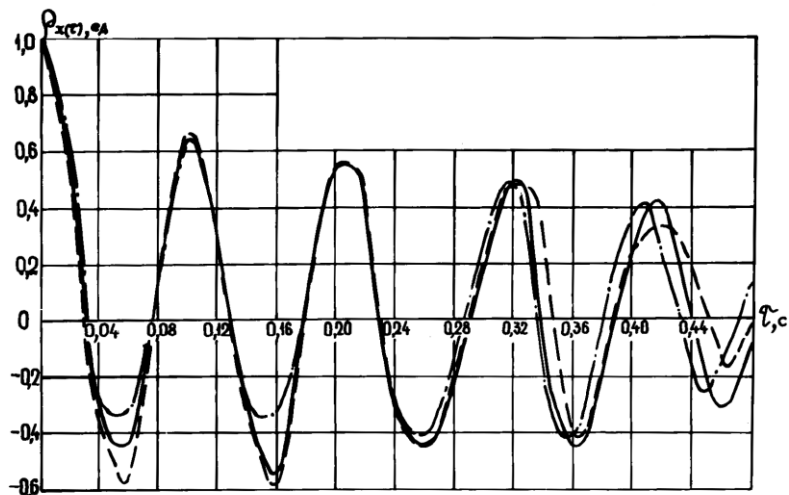


Рис. 4. Нормированные корреляционные функции нагруженности гидропривода при обработке дерева диаметром 0,30 м

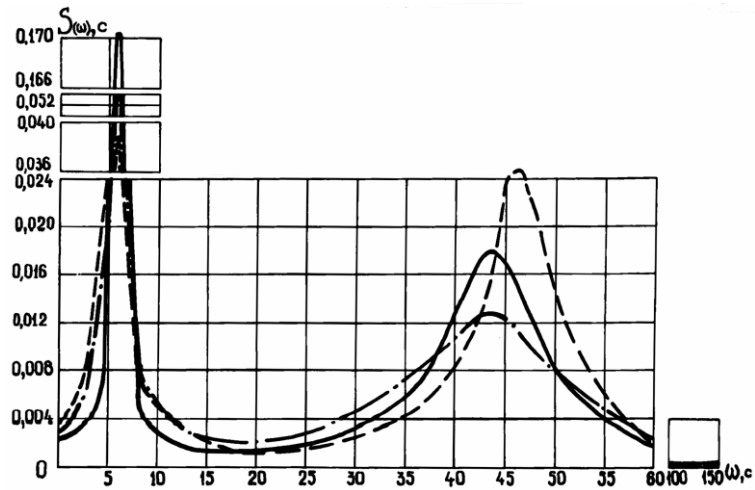


Рис. 5. Нормированные спектральные плотности нагруженности гидропривода машины ЛП-30Г при обработке дерева диаметром 0,40 м

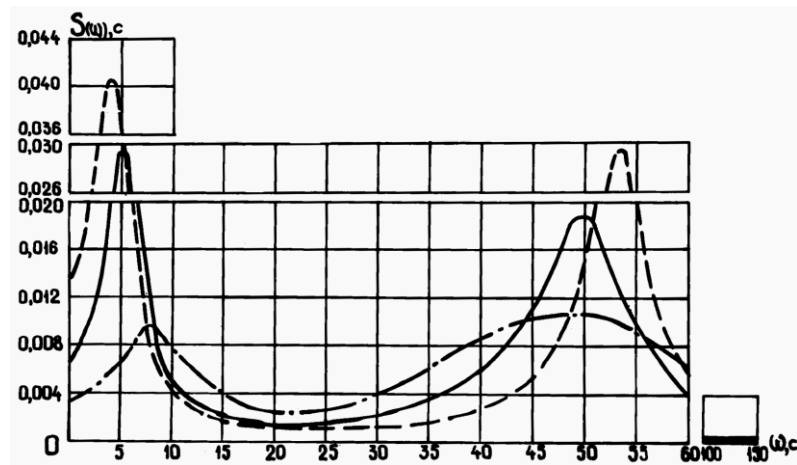


Рис. 6. Нормированные спектральные плотности нагруженности гидропривода машины ЛП-30Г при обработке дерева диаметром 0,35 м

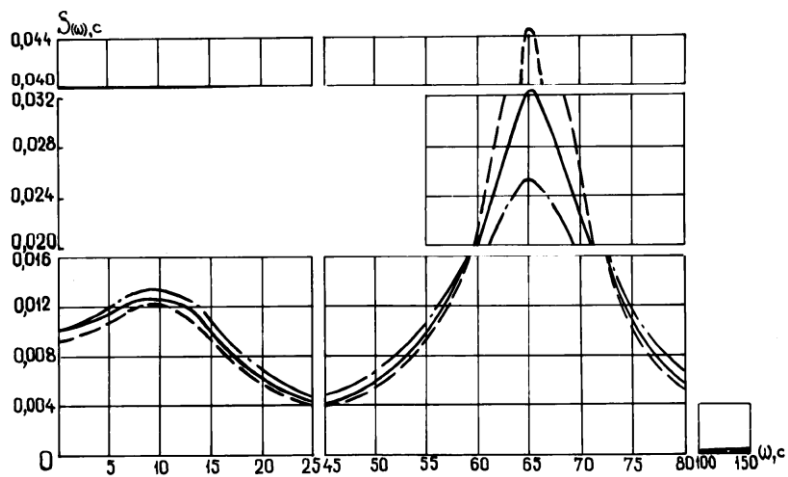


Рис. 7. Нормированные спектральные плотности нагруженности гидропривода машины ЛП-30Г при обработке дерева диаметром 0,30 м

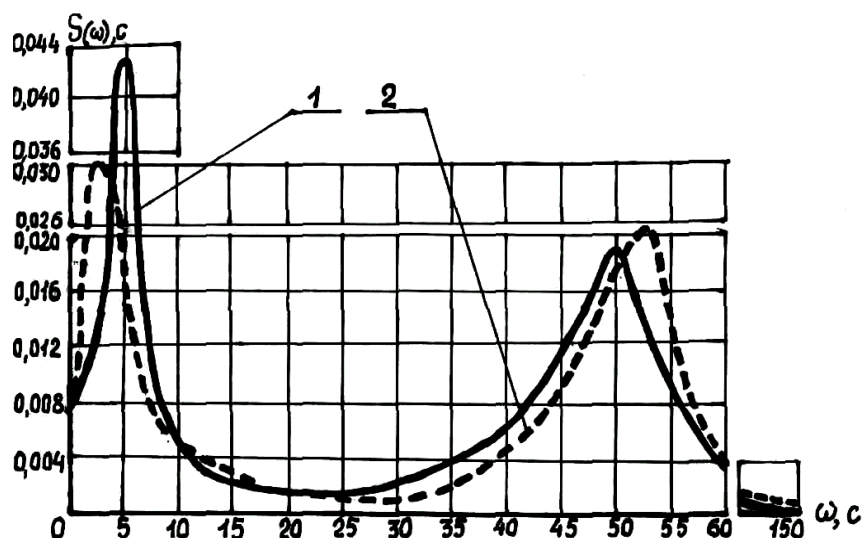


Рис. 8. Нормированные спектральные плотности нагрузки гидропривода бокового ножа при различной наработке: 1–100, 2–4500 моточасов

Анализ графиков нормированных спектральных плотностей (рис. 5–7) показывает, что при обработке предмета труда различного объема имеются по две ярко выраженных зоны максимальных значений. Максимумы спектральных плотностей смещаются в сторону высоких частот с уменьшением объема дерева. При увеличении наработки машины (рис.8) наблюдается смещение максимумов, причем высокочастотный смещается в сторону низких, а низкочастотный – в сторону высоких частот.

Это говорит о том, что в качестве диагностического параметра при определении общего технического состояния гидропривода в функциональном режиме применимы максимумы спектральных плотностей, полученные при определенных значениях объема дерева.

**Выводы.** Исследования гидропривода, проведенные с помощью описанной выше методики, позволили обосновать новый метод функциональной диагностики гидропривода.

Сущность предлагаемого метода определения общего технического состояния гидропривода заключается в определении спектральных плотностей нагруженности диагностируемого гидропривода при обработке деревьев и сравнении с эталонными значениями спектральных плотностей однотипного гидропривода, не имеющего наработки.

Научная новизна метода заключается в том, что техническое состояние гидропривода оценивается по отклонению максимумов спектральных плотностей нагруженности гидропривода от эталонных значений. Сравнение максимумов спектральных плотностей нагруженности гидропривода предельного состояния (предназначенного для выбраковки) с диагностируемым гидроприводом позволяет определить возможность его дальнейшей эксплуатации.

Данный метод функционального диагностирования гидроприводов предназначен для косвенного определения наличия неисправностей в его элементах при установлении уровня технического состояния и оценки его пригодности к дальнейшему использованию.

---

*Список литературы*

1. А.с. 901676 СССР, МКЛ<sup>3</sup> F15 В 19/00. Способ технического диагностирования упругих трубопроводов и устройство для его осуществления / Г. П. Дроздовский, А. И. Павлов (СССР). – № 2868105 / 25–06; заявл. 03.01.80; опубл. 30.01.82, Бюл. №4. – 5 с.: ил.
2. Лурье, А. Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов / А. Б. Лурье. – Л.: Колос, 1970. – 371 с.
3. Силаев, А. А. Спектральная теория подрессоривания транспортных машин / А. А. Силаев. – М.: Машиностроение, 1972. – 192 с.
4. Жуков, А. В. Основы проектирования специальных лесных машин с учетом колебаний / А. В. Жуков, Л. И. Кадолко. – Минск: Наука и техника, 1978. – 264 с.

Статья поступила в редакцию 29.10.08

*A. I. Pavlov*

**TECHNIQUE OF FUNCTIONAL DIAGNOSING  
HARVESTER HYDRAULIC DRIVE**

*The technique of diagnosing harvester hydraulic drive in the process of its functional exploitation by the example of tree length delimeter is described. The technique is based on using the parameters of random process obtained at interacting of the machine working attachment with wood. Normalized spectral densities for tree length delimeter hydraulic drive load at tree processing with different life are received, the shift of which maxima helps to judge about the technical state of hydraulic drives.*

**Key words:** *hydraulic drives, diagnosing techniques, reliability, harvesters.*

---

*ПАВЛОВ Александр Иванович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой транспортно-технологических машин МарГТУ. Область научных интересов – проблемы надежности гидроприводов лесных машин. Автор более 50 научных работ.