

УДК 631.354.60-210

В.В. РАДИН

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗЕРНОКОМБАЙНАХ ПРИ ОПТИМАЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ПРИВОДОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

В статье предложено использовать линейные модели приводов комбайнов для построения типовой динамической характеристики, представляющей собой реакцию системы привода на единичное импульсное воздействие. Такая характеристика названа импульсной переходной функцией (ИПФ) привода комбайна. Получена аналитическая модель ИПФ и показан путь реализации стратегии оптимального проектирования параметров передач комбайнов по статистическим критериям.

Ключевые слова: динамика привода, линейная модель, оптимизация процессов, оптимизация параметров, зернокомбайн, импульсная переходная функция.

Введение. В проблеме оптимизации зерноуборочных комбайнов выделяют два направления: оптимизация процессов и параметров рабочих органов или элементов конструкций при проектировании и оптимальное управление технологическими процессами, протекающими в комбайне при функционировании.

В соответствии с первым направлением для приводов зернокомбайнов нами решены задачи выбора оптимальных параметров динамических систем, отображаемых различными аналитическими моделями. При этом большой практический интерес имеют задачи статистической оптимизации, основанные на критериях минимума среднего квадрата отклонения угловых скоростей рабочих органов комбайнов от номиналов, минимума суммы динамической и статической ошибок рассогласования кинематических режимов системы привода, максимума попадания угловых скоростей рабочих органов в заданный агротехническими допусками интервал [1].

Эти задачи являются по существу задачами синтеза оптимальных значений параметров динамической системы привода комбайна, находящегося под воздействием случайных нагрузок со стороны жатки и ходовой части комбайна. Они позволяют получить ответ на актуальный вопрос об оптимальном сочетании инерционных и энергетических параметров приводов комбайнов, обеспечивающих эффективную работу комбайна с соблюдением агродопусков на качество выполнения технологического процесса комбайна.

Использование для оптимизации процессов нелинейных аналитических моделей движения приводов рабочих органов комбайнов приводит к громоздким процедурам приближенного решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений.

новенных дифуравнений [2]. Возможно, однако, существенно упростить процедуру оптимизации параметров приводов, воспользовавшись линейными динамическими моделями приводов.

Постановка задачи формализации динамических процессов в приводах зернокомбайнов. Дифференциальные уравнения движения системы приводов запишем следующим образом [1,2]:

$$\begin{aligned} & \frac{M}{H} \frac{\dot{\phi}_{01}}{M_{01}} \ddot{\phi}_{01} + \sum_{k=1}^3 I_{k+1} j_{ok}^2 (1 - 2\xi_{ok}) - 2[U \psi_{\pi}(t) + v m(t) \psi_{\beta} \dot{\gamma} + \\ & + \frac{M}{H} \frac{\dot{\phi}_{10}}{M_{01}} 2\dot{\phi}_{10} \sum_{k=1}^3 B_{j_{ok}^3} - h_o - \alpha \frac{M}{H} \frac{\psi_{\beta}}{\psi_{\pi}} U \frac{d\pi(t)}{dt} + \frac{dm(t)}{dt} \frac{\psi_{\beta}}{\psi_{\pi}} \dot{\gamma} = \\ & = \frac{1}{M_{01}} \left\{ \xi_0 \ddot{\phi}_{01} - (h_1 \pm \Delta h_1) \psi_{\alpha} 1(\pi - T_2) \pi(t) + q \sum_{x=1}^4 e^{\ddot{\phi}_{0(x+1)}} - \right. \\ & \left. (h_{x+1} \pm \Delta h_{x+1}) \psi_{\alpha} 1(\pi - T_{x+2}) m(t) + \beta \psi_{\mu} \right\}. \end{aligned} \quad (1)$$

Уравнение (1) получено для четырехмассовой модели привода зерноуборочного комбайна с классической схемой техпроцесса, является линеаризованным и в компактной форме принимает вид [1]:

$$H_1(t) \ddot{\phi}(t) + H_o \dot{\phi}(t) = - \sum_{k=1}^3 e^{\ddot{\phi}_{jk}} - (h_k \pm \Delta h_k) \psi_{\alpha} M_{k+1} + B \mu, \quad (2)$$

где принято $j_k = (j_{ok} - h_k)$ - передаточные числа кинематических транс-
ляторов;

$$\Delta M_{k+1} = \begin{cases} \frac{M}{H} \frac{1}{M_{01}} \frac{\partial M_{0(k+1)}}{\partial t} \Delta t, & k = 1, \\ \frac{M}{H} \frac{1}{M_{01}} \frac{\partial M_{0(k+1)}}{\partial t} \Delta q_{k+1}, & k = 2, \dots, s-1; \end{cases}$$

$$\Delta q_{k+1} = \Delta q(t - \tau_{k+1}) = \Delta q_1(t - \tau_{k+1});$$

s – число неголономных связей в приводе комбайна;

Δq – приращение нагрузки q на рабочий орган в стационарном режиме работы комбайна;

M_i – крутящие моменты сил движущих и сопротивления на соответствующих валах;

$$H_1(t) = \frac{\dot{\phi}_{01}}{M_{01}} (I_{II}(t) + I_1);$$

$$H_0(t) = \frac{\dot{\phi}_{01}}{M_{01}} \frac{1}{2} \frac{dI_{II}(t)}{dt} + 2\dot{\phi}_{01} \sum_{k=1}^s B_{k+1} j_{ok}^3 - h_0 - \frac{\partial M_{01}}{\partial \dot{\phi}_1} \psi,$$

$I_n(t)$ – приведенный к валу двигателя момент инерции привода;

$\dot{\gamma}(t)$, $\gamma(t)$ – угловое ускорение и угловая скорость коленвала

двигателя зернокомбайна;

h_k , Δh_k – параметры кинематических схем приводов комбайнов.

Представим коэффициенты $H_i(t)$ состоящими из постоянных $\bar{H}_i$ и изменяющихся $\tilde{H}_i$ частей, т.е.

$$H_i(t) = \bar{H}_i + \tilde{H}_i. \quad (3)$$

Тогда получим следующие выражения для коэффициентов H_i в уравнении (2):

$$\bar{H}_1 = \frac{\dot{\phi}_{01}}{M_{01}} \sum_{k=1}^3 I_{k+1} j_{ok}^2 (1 - 2\xi_{ok}) \psi;$$

$$\tilde{H}_1 = 2\ddot{U} \pi(t) + v m(t) \psi;$$

$$U = 2 \frac{\xi}{M_{01}} I_2 j_{02}^2 d_{12} \alpha_{12} (\pi - T_2); T_2 = \frac{\tau_2}{\xi_0}; \pi = \frac{\Delta \xi}{\xi_0};$$

$$\varepsilon_{01} = 2d_{12} M_{02}; \varepsilon_{02} = \sum_{x=1}^2 d_{2(x+2)} M_{0(x+2)};$$

$$\varepsilon_{03} = \sum_{x=1}^2 d_{2(x+2)} M_{0(x+2)} + d_{34} M_{04};$$

$$v = \frac{q_0}{M_{01}} \sum_{k=1}^2 \ddot{e} I_{x+2} j_{0(x+2)}^2 d_{2(x+2)} \alpha_{x+2} (\pi - T_{x+2}) \psi;$$

$$\bar{H}_0 = \frac{\dot{\phi}_{01}}{M_{01}} \sum_{k=1}^2 2\dot{\phi}_{01} \sum_{k=1}^s B_{k+1} j_{ok}^3 - h_0 - \alpha_1^M \psi, \alpha_1^M = \frac{\partial M_{01}}{\partial \dot{\phi}_1},$$

$$\tilde{H}_0 = - \left(U \frac{d\pi}{dt} + v \frac{dm}{dt} \right).$$

Методика определения ИПФ приводов зернокомбайнов. Импульсные переходные функции (ИПФ) приводов комбайнов представляют собой реакцию динамических систем, описываемых уравнением (1), на единичный импульс. Известно, что для линейных систем построение такой ИПФ позволяет определить реакцию системы на любое внешнее возмущение с помощью интеграла Дюамеля [2]. Поэтому ИПФ привода зернокомбайна позволяет произвести формализацию любого его динамического процесса, подлежащего оптимизации.

Подвергнем ИПФ системы $W(t, \xi)$ привода зернокомбайна условию физической возможности [3]:

$$W(t, \xi) \equiv O \begin{cases} \text{при } t < \xi \\ \text{при } \xi < 0. \end{cases}$$

ИПФ зернокомбайна является решением дифференциального уравнения:

$$H_1(t) \frac{dw}{dt^2} + H_0(t) w = B \delta(t - \xi) - \sum_{k=1}^s a_{k+1} \delta(t - \xi_{k+i}), \quad (4)$$

где $a_{k+1} = \frac{\Delta M_{k+1}}{\Delta M_{10}}$; ξ_k - время запаздывания сигнала возмущения на к-

м рабочем органе; $\delta(t - \xi)$ - функция Дирака.

После преобразований (3) и приведения внешнего воздействия только к подаче хлебной массы q уравнение (4) примет вид:

$$\bar{H}_1 \frac{dW}{dt} + \bar{H}_0 W = -\delta(t - \xi) - r(t), \quad (5)$$

где
$$r(t) = \tilde{H}_1 \frac{dW}{dt} + \tilde{H}_0 W. \quad (6)$$

Выражение (6) приводим к виду:

$$r(t) = -\nu \frac{dW}{dt} + \frac{dW}{dt} W_{\frac{\psi}{\beta}}; \quad \psi(t) \in \alpha \psi_t; \quad (7)$$

α – параметр внешнего воздействия.

Уравнение (5) сводится к интегральному уравнению Вольтера второго рода с помощью теоремы операционного исчисления о свертке функций [3], т.е.

$$W(S, \xi) = \Phi(S) R_2 e^{-S\xi} - F(s), \quad (8)$$

где принято:

$$\Phi(S) = \frac{1}{S + R_1}; F(S) = L_t^M R_3 t \frac{dW_b}{dt}_\gamma; \\ R_1 = \frac{\bar{H}_0 + v \alpha}{\bar{H}_1}; R_2 = \frac{1}{\bar{H}_1}; R_3 = \frac{2v \alpha}{\bar{H}_1}.$$

Применяя теорему о свертке функций к уравнению (8), получаем интегральное уравнение Вольтера второго рода:

$$W(t, \xi) = \int_0^t \Phi(t - \xi) R_2 \delta(t - \xi) d\xi - \int_0^t \Phi(t - \xi) \varphi(\xi) d\xi. \quad (9)$$

Отыскивая решение уравнения (9) методом последовательных приближений, записываем его в виде следующего сходящегося ряда:

$$W(t, \xi) = W_0(t, \xi) - W_1(t, \xi) - \dots \quad (10)$$

Выполнив необходимые операции по определению каждого приближения ряда (10), получаем в замкнутой форме следующее выражение для ИПФ зерноуборочного комбайна:

$$W(t, \xi) = \frac{1}{\bar{H}_1} \exp_{H_1}^M - \frac{\bar{H}_0 + v \alpha}{\bar{H}_1} (t - \xi)_{\frac{1}{H_1}}^{\frac{1}{H_1}} - \frac{v \alpha}{\bar{H}_1} (t + \xi)_{\frac{1}{H_1}}^{\frac{1}{H_1}}. \quad (11)$$

Выражение (11) позволяет оценить динамику привода зернокомбайна, устойчивость движения приводов рабочих органов зерноуборочных комбайнов и служит математической моделью для построения целевых функций при статической оптимизации параметров приводов.

Выводы.

1. Полученная математическая модель привода зерноуборочного комбайна (11) представляет собой формализованный динамический процесс изменения во времени угловых скоростей двигателя и рабочих органов комбайна, т.е. реакцию на единичное импульсное воздействие.

2. Применяя интеграл Дюамеля, возможно построить динамическую реакцию привода зернокомбайна для любого другого типа внешнего воздействия на комбайн как со стороны подачи убираемой культуры, так и со стороны почвы.

3. Поскольку ИПФ (11) зависит только от технических характеристик и параметров комбайна и представляет линейную формализованную модель привода, то предлагается ее ввести в паспортные технические данные комбайна и использовать как показатель качества конструкции новой машины.

4. Стратегия оптимального проектирования систем приводов состоит в отыскании ИПФ реального комбайна, в получении параметрической сопряженной передаточной функции привода, соответствующей данной ИПФ, и в итеративном приближении параметров этой передаточной функ-

ции к параметрам оптимальной сопряженной передаточной функции, определенной по указанным выше критериям [1].

Библиографический список

1. Радин В.В. Теория оптимального проектирования мощности двигателя зерноуборочного комбайна. / В.В. Радин. – Ростов н/Д: РГАСХМ ГОУ, 2007. – 89 с.
2. Радин В.В. Динамика сложных машин как неголономных систем. / В.В. Радин, В.А. Бураков. – Ростов н/Д: РГАСХМ ГОУ, 2003. – 150 с.
3. Солодов А.В. Линейные автоматические системы с переменными параметрами. / А.В. Солодов, Ф.С. Петров. – М.: Наука, 1971. – 620 с.
4. Радин В.В. Методика и некоторые результаты аналитического исследования динамических процессов в приводах зерноуборочного комбайна. / В.В. Радин, Е.С. Босой. //Изв. вузов Сев.-Кав. региона. Сер. Технические науки.– Ростов н/Д. – 1976. – №4. – С.52-56.

Материал поступил в редакцию 23.03.09.

V.V. RADIN

FORMALISATION OF DYNAMIC PROCESSES IN GRAIN COMBINE AT OPTIMUM PROJECTION OF SYSTEMS OF DRIVES OF END-EFFECTORS

In paper it is offered to use the linear models of drives of combines to build the standard dynamic characteristic representing a response of system of a drive on a unit impulse excitation. Such performance is termed by a pulsing transition function of a drive of a combine p.t.f. The analytical model p.t.f. is gained. Also the path of implementation of the strategy of optimum projection of parameters of transmissions of combines by statistical measure is displayed.

РАДИН Виктор Викторович (р.1939), заведующий кафедрой «Сельхозмашины» Ростовской-на-Дону государственной академии сельхозмашиностроения, доктор технических наук (1991), профессор (1992). Окончил Ростовский-на-Дону институт сельхозмашиностроения (1962).

Научные интересы – динамика приводов сложных сельскохозяйственных машин.

Имеет 125 научных публикаций.

vvdudnik@rgashm.ru