

А.В. Явтушенко<sup>1</sup>, канд.техн.наук, Б.П. Серда<sup>2</sup>, д-р.техн.наук, Т.А. Васильченко<sup>2</sup>,  
А.В. Глебенко<sup>1</sup>, канд.техн.наук

1 - Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье, Украина

2 - Запорожская государственная инженерная академия, г. Запорожье, Украина

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТЫ ВКЛЮЧЕНИЯ КРИВОШИПНЫХ ПРЕССОВ С ПЛАНЕТАРНЫМ ПРИВОДОМ

*В статті визначені аналітичні залежності для розрахунку роботи включення планетарного приводу кривошипних пресів. По аналогії з фрикційними муфтами, при розрахунку планетарного приводу визначені два основних періоди включення – розгін маси  $J_1$  та розгін маси  $J_2$ . Встановлено, що робота включення є функціональною залежністю від моментів інерції відомих та ведучих частин приводу, кутової швидкості ланки «а» і кінематичних параметрів редуктора.*

*In this article the analytical expressions for the calculation of the inclusion of the planetary drive crank presses are identified. By analogy with friction clutches, identified two main periods of inclusion -  $J_1$  dispersal of mass and acceleration of mass  $J_2$  .. It was established that the work is the inclusion of the functional dependence of the moments of inertia of the trailing and leading parts of the drive, the angular velocity of link "a" and kinematic parameters of gear.*

В приводе кривошипных прессов все чаще используются планетарные редукторы, служащие для редуцирования угловой скорости и являющиеся одним из элементов системы включения. Системы включения с планетарными механизмами имеют ряд преимуществ по сравнению с обычными фрикционными муфтами, одним из которых является уменьшенный расход энергии на включение и остановку. Для проектирования, расчета и оценки эксплуатационных показателей качества кузнечно-прессовых машин в первую очередь необходимо определение таких параметров, как мощность электродвигателя, время и работа включения и остановки главного исполнительного механизма.

При работе фрикционных узлов выделяют два основных периода [1]. В первом периоде происходит уменьшение угловой скорости ведущей части привода до некоторой минимальной скорости. При этом угловая скорость ведомой части муфты возрастает от нуля до скорости, при которой заканчивается относительное проскальзывание ведущих и ведомых дисков. Уменьшенная кинетическая энергия ведущей части привода расходуется на разгон ведомых частей и на трение. Во втором периоде двигатель восстанавливает потерянную энергию.

На первом этапе ведущая часть теряет энергию:

$$T_m = \frac{J_1(\omega_0^2 - \omega_c^2)}{2}, \quad (1)$$

где  $J_1$  – момент инерции ведущей части привода;

$\omega_0$  – начальная угловая скорость ведущей части привода;

$\omega_c$  – наименьшая скорость ведущей части привода в конце первого периода.

В работе [1] указано, что:

$$\omega_c = \frac{\omega_0}{1+j}, \quad (2)$$

где  $j = \frac{J_2}{J_1}$  – относительный момент инерции ведущей части привода;

$J_2$  – момент инерции ведомой части привода.

С учетом формулы (2) после преобразований получим:

$$T_m = \frac{J_2 \omega_0^2 (2+j)}{2(1+j)^2}. \quad (3)$$

Энергия разгона ведомых частей до скорости  $\omega_c$  составляет:

$$A_p = \frac{J_2 \omega_c^2}{2} \quad (4)$$

или

$$A_p = \frac{J_2 \omega_0^2}{2(1+j)^2}. \quad (5)$$

Работа трения представляет собой разность между энергией, которую маховик отдает за время проскальзывания дисков муфты и энергией разгона ведомых частей привода:

$$A_{mp} = \frac{J_2 \omega_0^2 (2+j)}{2(1+j)^2} - \frac{J_2 \omega_0^2}{2(1+j)^2} = \frac{J_2 \omega_0^2}{2(1+j)^2}. \quad (6)$$

Добавив сюда расход энергии на разгон массы до скорости  $\omega_c$ , получим общий расход на включение фрикционной муфты кривошипных прессов:

$$A_{\text{в}} = \frac{J_2 \omega_0^2 (2+j)}{2(1+j)}. \quad (7)$$

В планетарном приводе процесс включения фрикционного узла происходит дважды за один двойной ход. При включении останавливается наружная шестерня и разгоняются водило с ведомыми частями, а при остановке – наоборот.

Планетарный привод кривошипных прессов представляется в виде трехмассовой модели с сосредоточенными инерционными элементами  $J_a, J_b, J_h$  [2]. Момент инерции  $J_a$  представляет собой момент инерции ведущих частей привода. Момент инерции  $J_b$  является моментом инерции наружной шестерни редуктора и вращающихся деталей тормоза остановки. Момент инерции  $J_h$  является моментом инерции ведомых частей привода. При использовании промежуточной зубчатой передачи в крупных прессах в состав массы  $J_h$  включаются моменты инерции зубчатых колес и промежуточного вала.

По аналогии с обычной муфтой при включении или остановке планетарного привода имеют место также два периода.

Принимая, что скорость звена  $J_a$  перед включением или остановкой незначительно отличается от некоторой средней скорости холостого вращения –  $\omega_{ax}$ , расход энергии на включение можно представить как:

$$A_{\text{в1}} = \frac{J_a (\omega_{ax}^2 - \omega_{amv}^2)}{2} + \frac{J_h (\omega_{hx}^2 - \omega_{hmv}^2)}{2}. \quad (8)$$

где  $\omega_{ax}$  – начальная угловая скорость звена  $a$  при включении;  
 $\omega_{amv}$  – наименьшая угловая скорость звена  $a$  в момент остановки звена  $a$ ;  
 $\omega_{hx}$  – начальная угловая скорость звена  $h$  при включении;  
 $\omega_{hmv}$  – наименьшая угловая скорость звена  $h$  при остановке звена  $a$ .

Т.к.  $\omega_h = \frac{\omega_a}{1+p}$ , то

$$A_{\text{в1}} = \frac{J_a (\omega_{ax}^2 - \omega_{amv}^2)}{2} + \frac{J_h (\omega_{ax}^2 - \omega_{amv}^2)}{2(1+p)^2} = \frac{\omega_{ax}^2 - \omega_{amv}^2}{2} \left( J_a + \frac{J_h}{(1+p)^2} \right), \quad (9)$$

где  $p = \frac{z_b}{z_a}$  – кинематический параметр редуктора;

$z_b, z_a$  – соответственно число зубьев внешней и внутренней шестерней редуктора

Обозначив относительный момент инерции водила:

$$j_v = \frac{J_h}{J_a (1+p)^2},$$

формула (9) после соответствующих преобразований примет вид:

$$A_{\text{в1}} = \frac{\omega_{ax}^2 - \omega_{amv}^2}{2} J_a (1+j_v). \quad (10)$$

Как указывалось в работе [3]:

$$\omega_{amv} = \frac{\omega_{ax}}{1+j_v},$$

тогда

$$A_{\text{в1}} = \frac{\omega_{ax}^2 J_a}{2} (1+j_v) \frac{1+2j_v+j_v^2-1}{(1+j_v)^2} = \frac{J_a \omega_{ax}^2}{2} \frac{(2+j_v)}{1+j_v} j_v. \quad (11)$$

Аналогично для остановки привода расход энергии на остановку составляет:

$$A_{e2} = \frac{J_a \omega_{ax}^2 (2 + j_s)}{2(1 + j_s)} j_s, \quad (12)$$

где  $j_s = \frac{J_b}{J_a p^2}$  - относительный момент инерции наружной шестерни.

Тогда общий расход энергии на включение и остановку за один цикл будет равен сумме этих двух работ:

$$A_e = \frac{J_a \omega_{ax}^2}{2} \left( \frac{(2 + j_v)}{1 + j_v} + \frac{(2 + j_s)}{1 + j_s} j_s \right), \quad (13)$$

Т.к.  $j_v$  и  $j_s$  обычно гораздо меньше 0,1, то можно принять

$$\frac{2 + j_s}{1 + j_s} = \frac{2 + j_v}{1 + j_v} \approx 2,$$

и тогда:

$$A_e = J_a \omega_{ax}^2 (j_v + j_s), \quad (14)$$

Таким образом, работа включения кривошипного пресса с планетарным приводом является функциональной зависимостью от моментов инерции ведомых и ведущих частей привода, угловой скорости холостого хода звена  $a$  и кинематических параметров редуктора.

#### Список литературы

1. Богданов Э.Ф. К расчету фрикционных муфт кривошипный кузнечно-штамповочных машин / Э.Ф. Богданов, Н.М. Ларионов// Машины и технология обработки металлов давлением. Сборник трудов. Под ред. А.И. Зимина и Э.Ф. Богданова. – М., «Машиностроение», 1973 (МВТУ им.Баумана, вып. 10) – С.134 – 141.
2. Явтушенко А.В. Динамическая модель планетарного привода кривошипных прессов / А.В. Явтушенко, А.В. Глебенко, Т.А. Васильченко, С.С. Видмич // Вісник Кременчуцького державного технічного університету ім. М. Остроградського. – Кременчук, КДТУ, 2009. – Вип. 6/2009 (59, частина 1). С. 44-48.
3. Явтушенко А.В. Приближенный расчет основных энергодинамических параметров процессов включения и остановки планетарного привода / А.В. Явтушенко, Б.П. Серета, Т.А. Васильченко, А.В. Глебенко// Обработка металлов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2010. - № 3(24). – С.175-179.