

ЛИТЕРАТУРА

1. Разработка теоретических основ и усовершенствование рабочих органов картофелеуборочных машин с целью создания высокопроизводительных агрегатов // Промеж. отчет НИЛ теорет. основ мех. уборки картофеля и корнеплодов. - Мн.: БИМСХ, 1988.

КИНЕМАТИКА АСИММЕТРИЧНОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО ШАРНИРА

В.И. Ходосевич, канд. техн. наук; Ю.Н. Силкович, канд. техн. наук

УО «БГАТУ»

(г. Минск, Республика Беларусь)

In article functional dependences between kinematic and design data of the asymmetrical universal joint which substantially expand opportunities of the cardan drives theoretical analysis on a design stage and perfection of machine units are established.

Исследованию кинематики карданных передач, включающих универсальные шарниры неравных угловых скоростей, посвящено множество научных работ [1 – 5 и др.]. Все они базируются на учете влияния угла между осями ведущего и ведомого валов универсального шарнира на синхронность их вращения.

Однако причиной несинхронности вращения валов может быть и неперпендикулярность осей шипов крестовины между собой или осей шипов с соответствующими им осями валов шарнира, т.е. асимметричность конструктивных параметров универсального шарнира. Такие исследования до сих пор не проводились.

Рассмотрим асимметричный универсальный шарнир (см. рисунок 1а), состоящий из ведущего I и ведомого II валов с жестко закрепленными на них вилками 1 и 2, крестовины 3.

В системе координат $O_1X_1Y_1Z_1$ ось вала I совпадает с осью O_1X_1 , а ось вала II располагается в плоскости $O_1X_1Z_1$. Оси валов I и II пересекаются в начале O_1 координат и образуют угол γ_1 .

Ось шипов крестовины 3 ввилке 1 наклонена к оси вала I под углом $\mu_1 (0 < \mu_1 < \pi)$, а ось шипов крестовины ввилке 2 наклонена к оси

вала II под углом $\mu_2 (0 < \mu_2 < \pi)$. Оси каждой пары шипов крестовины пересекаются в начале O_i координат и образуют между собой угол $\pi/2 \pm \varepsilon_i (0 \leq \varepsilon_i \leq \pi/2)$.

В исходном положении вилка I расположена в плоскости $O_1X_1Z_1$, а угол φ_1 поворота вала I равен нулю. Вал II в этот момент повернут на некоторый начальный угол $\alpha_2 = f(\gamma_1, \mu_1, \mu_2, \varepsilon_1)$.

Единичные векторы $\overline{O_1A}$ и $\overline{O_1B}$ (рис. 1, а) направлены вдоль осей шипов вилок 1 и 2 соответственно.

Спроектируем эти векторы на плоскости, перпендикулярные осям валов I и II и пересекающиеся между собой по оси O_1X_1 . Тогда проекция O_1A' вектора $\overline{O_1A}$ на плоскость $O_1X_1Z_1$ совпадает с осью O_1Z_1 , а проекция O_1B' вектора $\overline{O_1B}$ на плоскость $O_1X_1Z_1'$ образует с осью O_1X_1 угол α_2 – начальную фазу угла поворота вала II.

Обозначим угол поворота ведущего вала I через φ_1 , а ведомого вала II – φ_2 и определим функциональную связь между этими углами – $\varphi_2 = f(\varphi_1, \gamma_1, \mu_1, \mu_2, \varepsilon_1)$.

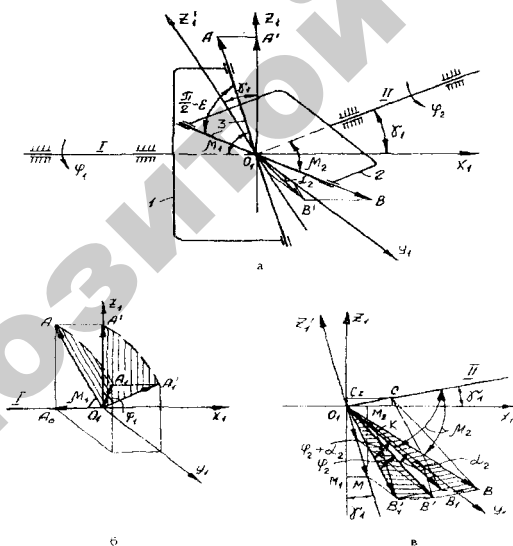


Рис. 1. Расчетные схемы: а) асимметричного универсального шарнира; б) определения координат вектора $\overline{O_1A}$; в) определения координат вектора $\overline{O_1B}$ с учетом, что угол между осями шипов крестовины равен $\pi/2 \pm \varepsilon_1$

При повороте вала I на угол φ_1 вектор $\vec{O_1A}$ займет положение $\vec{O_1A'}$. Его проекция на плоскость — O_1A' . Угол между проекциями O_1A' и O_1A_1 векторов $\vec{O_1A}$ и $\vec{O_1A_1}$ является углом φ_1 поворота вала I. Векторы $\vec{O_1A}$ и $\vec{O_1A_1}$ наклонены к оси под углом μ_1 .

Поворот вала I на угол φ_1 вызывает поворот вала II на угол φ_2 . При этом вектор $\vec{O_1B}$ займет положение $\vec{O_1B'}$. O_1B' и O_1B_1 являются проекциями этих векторов. В пересечении проекций образуется угол. Когда, проекция $\vec{O_1B'}$ образует с осью угол. Определим в общем виде скалярное произведение векторов $\vec{O_1A_1}$ и $\vec{O_1B_1}$ с учетом, что угол между осями шапов крестовины равны $\pi/2 \pm \varepsilon_1$.

$$O_1\vec{A_1} \cdot O_1\vec{B_1} = \cos\left(\frac{\pi}{2} \pm \varepsilon_1\right) = \sin \varepsilon_1. \quad (1)$$

Используем расчетные схемы для определения координат векторов $\vec{O_1A_1}$ и $\vec{O_1B_1}$:

$$\begin{aligned} O_1\vec{A_1} &= \left\{ -\cos \mu_{11}; \sin \mu_{11} \sin \varphi_{11} \sin \mu_{11} \cos \varphi_{11} \right\}; \\ O_1\vec{B_1} &= \left\{ \cos \mu_2 \cos \gamma_1 + \sin \mu_2 \sin \gamma_1 \sin(\varphi_2 + \alpha_2) \right. \\ &\quad \left. \sin \mu_2 \cos(\varphi_2 + \alpha_2); \cos \mu_2 \sin \gamma_1 - \sin \mu_2 \cos \gamma_1 \sin(\varphi_2 + \alpha_2) \right\}. \end{aligned}$$

С учетом координат векторов $\vec{O_1A_1}$ и $\vec{O_1B_1}$ скалярное произведение (1) примет вид

$$\begin{aligned} &-\cos \mu_1 \cos \mu_2 \cos \gamma_1 - \cos \mu_1 \sin \mu_2 \sin \gamma_1 \sin(\varphi_2 + \alpha_2) + \\ &+ \sin \mu_1 \sin \mu_2 \sin \varphi_1 \cos(\varphi_2 + \alpha_2) + \sin \mu_1 \cos \mu_2 \sin \gamma_1 \cos \varphi_1 - \\ &- \sin \mu_1 \sin \mu_2 \cos \gamma_1 \cos \varphi_1 \sin(\varphi_2 + \alpha_2) = \sin \varepsilon_1. \end{aligned} \quad (2)$$

Введем обозначения:

$$\begin{aligned} a &= -\cos \mu_1 \cos \mu_2 \cos \gamma_1; & b &= \sin \mu_1 \cos \mu_2 \sin \gamma_1; \\ c &= -\sin \varepsilon_1; & d &= \sin \mu_1 \sin \mu_2; \\ k &= \cos \mu_1 \sin \mu_2 \sin \gamma_1; & l &= \sin \mu_1 \sin \mu_2 \cos \gamma_1. \end{aligned}$$

Тогда скалярное произведение (2) примет вид

$$a + b \cos \varphi_1 + c + d \sin \varphi_1 \cos(\varphi_2 + \alpha_2) = (k + l \cos \varphi_1) \sin(\varphi_2 + \alpha_2). \quad (3)$$

Заменим $\sin(\varphi_2 + \alpha_2)$ на $\sqrt{1 - \cos^2(\varphi_2 + \alpha_2)}$

$$a + b \cos \varphi_1 + c + d \sin \varphi_1 \cos(\varphi_2 + \alpha_2) = (k + l \cos \varphi_1) \sqrt{1 - \cos^2(\varphi_2 + \alpha_2)}.$$

После преобразований получим

$$\begin{aligned} & \left[d^2 \sin^2 \varphi_1 + (k + l \cos \varphi_1)^2 \right] \cos^2(\varphi_2 + \alpha_2) + \\ & + 2d \sin \varphi_1 (a + b \cos \varphi_1 + c) \cos(\varphi_2 + \alpha_2) + \\ & + (a + b \cos \varphi_1 + c)^2 + (k + l \cos \varphi_1)^2 = 0 . \end{aligned}$$

Решением этого неприведенного квадратного уравнения является

$$\cos(\varphi_2 + \alpha_2) = \frac{-d \sin \varphi_1 (a + b \cos \varphi_1 + c)}{d^2 \sin^2 \varphi_1 + (k + l \cos \varphi_1)^2} \pm \quad (4)$$

Заменим в скалярном произведении (3) $\cos(\varphi_2 + \alpha_2)$ на (4) и преобразуем к виду

$$\begin{aligned} \sin(\varphi_2 + \alpha_2) &= \frac{(k + l \cos \varphi_1)(a + b \cos \varphi_1 + c)}{d^2 \sin^2 \varphi_1 + (k + l \cos \varphi_1)^2} \pm \\ &\pm \frac{d \sin \varphi_1 \sqrt{d^2 \sin^2 \varphi_1 + (k + l \cos \varphi_1)^2 - (a + b \cos \varphi_1 + c)^2}}{d^2 \sin^2 \varphi_1 + (k + l \cos \varphi_1)^2} . \end{aligned} \quad (5)$$

Из уравнения (2) при $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$ определяем $\sin \alpha_2$

$$\sin \alpha_2 = \frac{a + b + c}{k + l} . \quad (6)$$

Возьмем производную от (2) по времени:

$$\begin{aligned} & -\dot{\varphi}_2 \cos \mu_1 \sin \mu_2 \sin \gamma_1 \cos(\varphi_2 + \alpha_2) - \dot{\varphi}_2 \sin \mu_1 \sin \mu_2 \sin \varphi_1 \sin(\varphi_2 + \alpha_2) + \\ & + \dot{\varphi}_1 \sin \mu_1 \sin \mu_2 \cos \varphi_1 \cos(\varphi_2 + \alpha_2) - \dot{\varphi}_1 \sin \mu_1 \cos \mu_2 \sin \gamma_1 \sin \varphi_1 - \\ & - \dot{\varphi}_2 \sin \mu_1 \sin \mu_2 \cos \gamma_1 \cos \varphi_1 \cos(\varphi_2 + \alpha_2) + \\ & + \dot{\varphi}_1 \sin \mu_1 \sin \mu_2 \cos \gamma_1 \sin \varphi_1 \sin(\varphi_2 + \alpha_2) = 0 . \end{aligned}$$

Определим передаточное отношение i универсального шарнира

$$i = \frac{\dot{\varphi}_2}{\dot{\varphi}_1} = \frac{[b + l \sin(\varphi_2 + \alpha_2)] \sin \varphi_1 + d \cos \varphi_1 \cos(\varphi_2 + \alpha_2)}{d \sin \varphi_1 \sin(\varphi_2 + \alpha_2) + (k + l \cos \varphi_1) \cos(\varphi_2 + \alpha_2)} . \quad (7)$$

Функциональные зависимости (4) и (6) позволяют определить

$$\begin{aligned} \varphi_2 + \alpha_2 &= \arccos \left[\frac{-d \sin \varphi_1 (a + b \cos \varphi_1 + c)}{d^2 \sin^2 \varphi_1 + (k + l \cos \varphi_1)^2} \pm \right. \\ &\left. \pm \frac{(k + l \cos \varphi_1) \sqrt{d^2 \sin^2 \varphi_1 + (k + l \cos \varphi_1)^2 - (a + b \cos \varphi_1 + c)^2}}{d^2 \sin^2 \varphi_1 + (k + l \cos \varphi_1)^2} \right] , \end{aligned} \quad (8)$$

$$\alpha_2 = \arcsin \frac{a + b + c}{k + l} . \quad (9)$$

Таким образом, зависимости (7), (8) и (9) определяют функциональную связь передаточного отношения i , углов α_2 и $\varphi_2 + \alpha_2$ поворота ведомого вала с параметрами γ_1 , μ_1 , μ_2 , ε_1 и углом φ_1 поворота

ведущего вала асимметричного универсального шарнира. Они в значительной степени расширяют возможности теоретического анализа карданных приводов на стадии проектирования и совершенствования машинных агрегатов. Используя эти зависимости, можно анализировать кинематику карданных передач с любым количеством универсальных шарниров и оценивать влияние неточности изготовления крестовин и вилок универсальных карданных шарниров на динамическую нагруженность передаточных механизмов машинных агрегатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Верховский А.В. Кинематическое и динамическое исследование шарнира Гука (универсальный шарнир) / Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин. - М.-Л.: Сельхозгиз, 1935. Т.1.
2. Чудаков Е.А. Расчет автомобиля. - М.: Машгиз, 1947.
3. Блох З.Ш. Теория и расчет карданных передач // Расчет и проектирование деталей сельскохозяйственных машин. - М.-Л.: ОНТИ, 1938.
4. Блох З.Ш. Расчет карданных передач / Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин. - М.-Л.: Машгиз, 1940. Т.5.
5. Доскалов А.Й. О переводных отношениях в многократных передачах: В 3 ч. // Сельскохозяйственное машиностроение и механизация сельского хозяйства: Науч. тр / ВИММЭСС – Русе. – Русе, 1980. Т. 22, серия I.

ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСА МАШИН ДЛЯ УБОРКИ ТРАВ НА ЗЕЛЕНый КОРМ В ЦЕЛЬНОМ ВИДЕ

А.А. Шунюлов, канд. техн. наук

УО «БГАТУ»

(г. Минск, Республика Беларусь)

The author suggests both technical and technological description for projecting of machine complex for harvesting grass crops for green nutrition. This is made on the basis of widening the standard number of all-purpose machines' functions.