

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИМПУЛЬСНОГО РЕДУКТОРА

Выполнен кинематический анализ новой конструкции импульсного редуктора, который позволяет передавать два импульса движения в течение одного оборота входного звена; исследованы кинематические характеристики редуктора.

Ключевые слова: механизм свободного хода, кинематика передачи, кулиса, эксцентрик.

The kinematics analysis of new construction of impulsive reductor which allows to pass two impulses of motion during one turn of entrance link has been fulfilled; kinematics characteristics of reductor have been investigated.

Keywords: mechanism of free motion, kinematics of transmission, side scene, eccentric person.

При реализации различных технологических процессов часто приходится получать небольшие скорости рабочего органа. Например, в обжарочных печах пищевой промышленности частота вращения обжарочного барабана не больше 7,5 об./мин. В обсерваториях при требовании непрерывного слежения за небесным телом рабочие скорости наблюдательных объективов имеют очень малые значения. Для обеспечения больших перепадов между угловыми скоростями используют многоступенчатые редукторы, состоящие из цилиндрических передач. Как правило, в общем машиностроении выпускаются максимум трехступенчатые редукторы, передаточное отношение которых не превышает 200. Для получения больших передаточных отношений используют комбинированные передачи, включающие в свой состав червячные ступени. Такие комбинированные передачи обеспечивают значение передаточного отношения до 500...600 единиц, однако потери на трение в них доходят до 32...45%. Как ранее отмечалось, в некоторых рабочих машинах, особенно в сканирующих устройствах, отслеживающих небесные тела и др., требуется получение значительно больших (более 2000) передаточных отношений. Использование для таких целей двухступенчатых червячных передач неэкономично из-за очень больших потерь на трение (85–90%). Применение таких редукторов на практике, особенно в настоящее время, в век нехватки энергоресурсов, весьма проблематично и нецелесообразно.

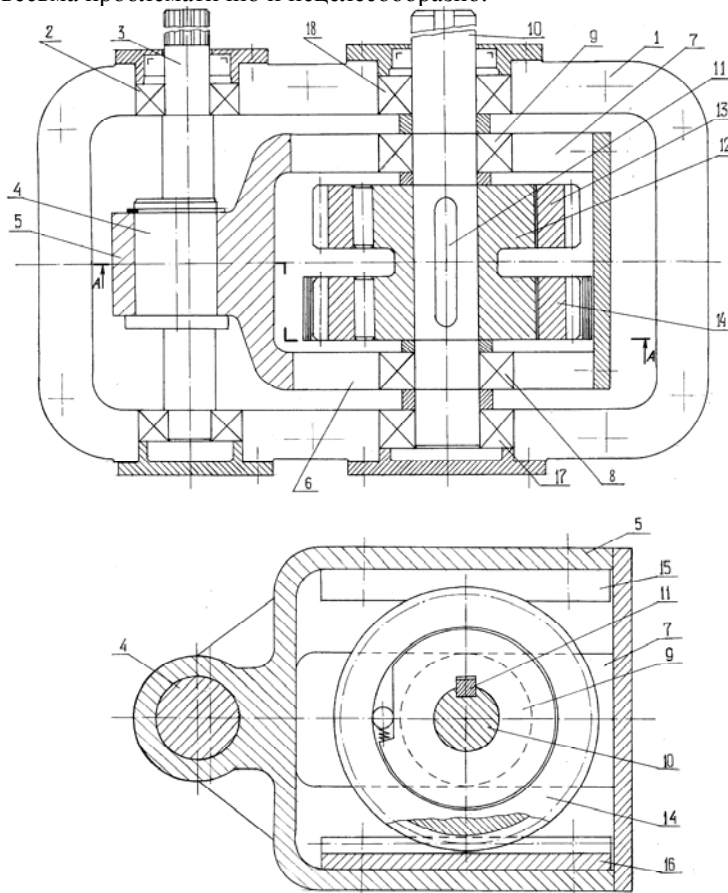


Рис. 1. Импульсный редуктор

Наиболее эффективными, с точки зрения компактности конструкции, малой металлоемкости, высокого значения коэффициента полезного действия, являются импульсные редукторы, позволяющие обеспечивать большие значения передаточного отношения [1].

Рассматриваемая конструкция импульсного редуктора [2] позволяет увеличить к.п.д. передачи, повысить надежность и долговечность. В состав исследуемого импульсного редуктора входят кулисный рычажный механизм, конструктивно взаимосвязанные с ним два зубчатых реечных механизма и два механизма свободного хода (МСХ) (рис. 1).

Конструкция импульсного редуктора состоит из корпуса 1, в котором на подшипниках 2 установлен ведущий вал 3. Ведущий вал выполнен как одно целое с эксцентриком 4, образующим шарнирное соединение с шатуном 5. Шатун выполнен в виде прямоугольной рамы, по бокам которой имеется два одинаковых паза 6 и 7, образующих подвижное соединение с подшипниками 8 и 9 соответственно. Подшипники 8 и 9 жестко установлены на ведомом валу 10. На ведомом валу с помощью шпонки размещается

внутренняя обойма 12 МСХ. На внутренней обойме МСХ установлены две наружные обоймы 13 и 14, снабженные зубчатыми венцами. Наружные обоймы совместно с ведомым валом 10 установлены в средней прямоугольной части шатуна. Обойма 13 находится в зацеплении с зубчатой рейкой 15, а обойма 14 – с

зубчатой рейкой 16. Зубчатые рейки 15 и 16 жестко закреплены на шатуне в диаметрально противоположных направляющих относительно ведомого вала. Ведомый вал с помощью подшипников качения 17 и 18 установлен в корпус редуктора.

Вращательное движение от ведущего вала и эксцентрика передается шатуну. Шатун совершает плоскопараллельное движение по боковым пазам 6, 7 относительно подшипников 8, 9 и вращается относительно продольной оси ведомого вала. При продольном перемещении шатуна относительно подшипников зубчатые рейки 15 и 16 поворачивают венцы наружных обойм 13 и 14 в разных направлениях, так как они расположены диаметрально противоположно, и, если передача 15-13 выполняет рабочий ход, то передача 16-14 работает в холостом режиме. В связи с тем, что шатун осуществляет еще и колебательное движение относительно продольной оси вращения ведомого вала, то при вращении в одном направлении выполняется рабочий ход, то есть МСХ вращает ведомый вал, а в противоположном направлении – холостой ход. Таким образом, за один оборот ведущего вала ведомый вал получает два импульса, смещенных относительно друг друга, при условии, что угол качания шатуна незначителен.

Такое конструктивное исполнение импульсного редуктора увеличивает количество импульсов за один оборот ведущего вала, что приводит к уменьшению колебаний угловой скорости ведомого вала, тем самым к уменьшению неравномерности вращения ведомого вала.

Кинематическая схема импульсного редуктора представлена на рис. 2.

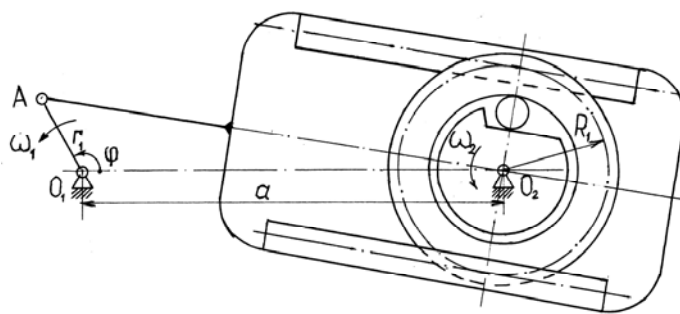


Рис. 2. Кинематическая схема импульсного редуктора

Функция положения сложного преобразующего механизма редуктора имеет вид

$$\Phi = [r_1 - a + \sqrt{(a - r_1 \cdot \cos \varphi)^2 + r_1^2 \cdot \sin^2 \varphi}] / R_1 \text{ при } 0 \leq \varphi \leq \pi ;$$

$$\Phi = 2 \cdot r_1 / R_1 + [r_1 - a + \sqrt{(a + r_1 \cdot \cos \varphi)^2 + r_1^2 \cdot \sin^2 \varphi}] / R_1 \text{ при } \pi \leq \varphi \leq 2 \cdot \pi ,$$
(1)

где r_1 – длина кривошипа,

a – межосевое расстояние,

φ – угол поворота кривошипа,

R_1 – радиус делительной окружности зубчатого венца наружной обоймы МСХ.

Исследование кинематики удобнее проводить при использовании относительных единиц. С этой целью введем следующие обозначения: $r = r_1/a$; $R = R_1/a$ – относительные длина кривошипа и радиус зубчатого венца наружной обоймы МСХ соответственно.

При изменении передаточного отношения редуктора в течение цикла интерес представляет величина передаточного отношения U_m , среднего за цикл. Его величину можно определить из соотношения $U_m = 2 \cdot \pi / \Phi_{\max}$, где Φ_{\max} – угол поворота ведомого вала за цикл без учета податливости МСХ. В данной конструкции угол Φ_{\max} включает в себя двойной импульс от рычажного механизма. Результаты численного анализа среднего передаточного отношения при различных размерах МСХ представлены в графическом виде на рис. 3.

Численный анализ кинематики показал, что кинематические характеристики механизма не зависят от межосевого расстояния кулисного механизма, а зависят только от соотношения размеров кривошипа и диаметра МСХ. Передаточное отношение рассматриваемого редуктора возрастает при уменьшении длины кривошипа и с возрастанием диаметра МСХ.

Функция изменения угловой скорости ведомого вала редуктора имеет вид:

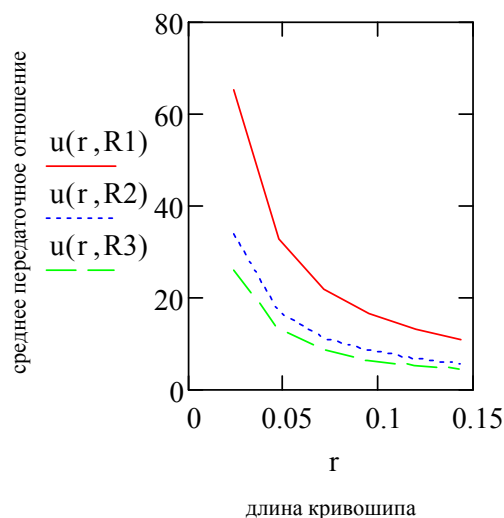


Рис. 3. Изменение среднего за цикл передаточного отношения редуктора в зависимости от длины кривошипа при различных размерах МСХ (при $R_1 = R_1 = 0.1$ м; $R_1 = R_2 = 0.054$ м; $R_1 = R_3 = 0.04$ м)

$$\omega_2(\varphi) = \frac{\pm r \cdot \sin \varphi}{R \cdot \sqrt{1 \mp 2 \cdot r \cdot \cos \varphi + r^2}} \quad (2)$$

Верхние знаки в (2) используются для вычисления $\omega_2(\varphi)$ при $0 \leq \varphi \leq \pi$, нижние знаки – при $\pi \leq \varphi \leq 2 \cdot \pi$.

Изменение углового ускорения можно определить из выражения

$$\varepsilon_2(\varphi) = \frac{\pm r \cdot (1 + r^2) \cdot \cos \varphi - r^2 \cdot (1 + \cos^2 \varphi)}{R \cdot \sqrt{(1 \mp 2 \cdot r \cdot \cos \varphi + r^2)^3}}, \quad (3)$$

где знаки используются аналогично.

На рис.4 представлены графики изменения угловой скорости и углового ускорения ведомого вала при наиболее целесообразных размерах кривошипа и МСХ.

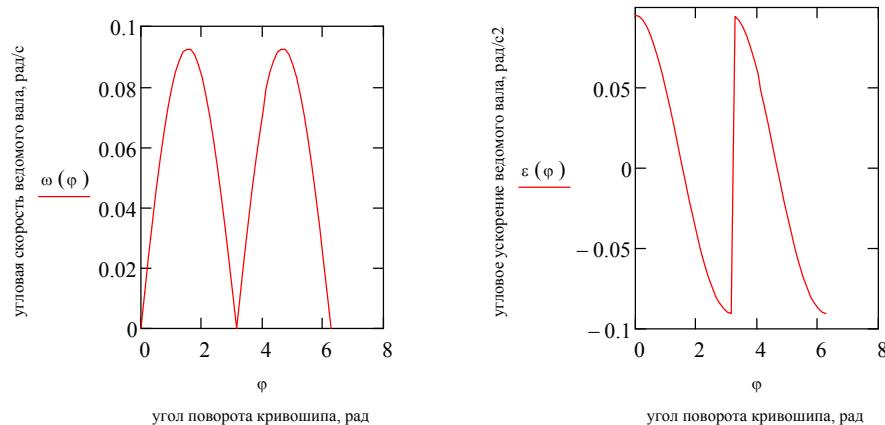


Рис. 4. Графики изменения угловой скорости и углового ускорения ведомого вала при $r_1=0.005$ м и $R_1=0.054$ м

Получение двух импульсов изменения угловой скорости за цикл дает возможность ведомому валу вращаться с меньшей неравномерностью.

Кинематический анализ с помощью программного цикла расчета импульсного редуктора как механизма с переменной структурой показал, что импульсный редуктор с данным преобразующим механизмом может обеспечивать не только движение ведомого вала с выстоями, но и с заданной неравномерностью. Возможно также и достижение равномерного вращения выходного вала при определенном сочетании реальных динамических характеристик составляющих редуктора [3]. Интерес представляет исследование динамики движения звеньев редуктора с учетом силовых факторов и инерционных характеристик.

Література

1. Мальцев В.Ф. Механические импульсные передачи / В.Ф. Мальцев – М. : Машиностроение, 1978. – 368 с.
2. Пат. 63938 Україна, МПК(2011.01) F16H 29/00. Импульсный редуктор / Амбарцумянц Р.В., Субботіна М.І. ; ОНАХТ. – №u201103684 ; заявл. 28.03.2011 ; опубл. 25.10.2011, Бюл. № 20, 2011.
3. Субботіна М.І. Динамічне дослідження впливу жорсткості механізму вільного ходу на основні характеристики імпульсного редуктора при зміні експлуатаційних умов / М.І. Субботіна // Наук. пр. / ОНАХТ. – Одеса, 2008. – Вип. 34, т. 1. – С. 275 – 279.

Надійшла 8.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Гросул Л.І.