УДК 621.837.3

УСТРОЙСТВА ЗАХВАТА И ПЕРЕНОСА ИЗДЕЛИЙ СО СЛОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ДВУПЛЕЧЕГО ЗВЕНА, НЕСУЩЕГО РАБОЧИЙ ОРГАН

© 2017 Н.А. Середа

Калининградский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 04.03.2017

В работе проведен сравнительный анализ конструктивных решений трех устройств захвата и переноса изделий. Эти устройства объединены общим признаком – наличием сложного движения двуплечего звена, несущего рабочий орган. Сложное движение названного звена включает два простых движения в следующем сочетании: возвратно-поступательное и возвратно-поворотное. Для каждой из трех конструкций устройств в аналитическом виде получены законы движения двуплечего звена, несущего рабочий орган. При этом использовался математический аппарат – функция положения, первая и вторая геометрические передаточные функции. Этот аппарат – алгоритмическая основа расчета и анализа параметров устройств захвата и переноса изделий.

Ключевые слова: *устройство, захват и перенос изделия, функция положения, первая и вторая геометрические передаточные функции, параметры*

Устройства захвата и переноса изделий, приведенные в настоящей статье, предназначены для механизации сравнительно простых вспомогательных операций, при выполнении которых траектория переноса изделия не меняется в интервале кинематического цикла. Примерами таких вспомогательных операций в технологических машинах и линиях пищевых производств являются:

- передача изделия между позициями в отдельной машине (передача карамели по одной в механизм завертки, подача коррекса для конфет, перенос стаканчиков с мороженым в механизм образования конусов);
- передача изделия между машинами технологической линии (подача брикетов дрожжей губками захвата на завертку, передача тестовых заготовок в расстойные агрегаты; снятие тестовых заготовок и передача их на поды хлебопекарных печей);
- загрузка изделий в транспортную тару;
- загрузка сырья в тракты машин.

Предварительно был проведен обзор конструктивных решений в области средств механизации основных и вспомогательных операций – роботов, манипуляторов, автооператоров [1-3]. Анализ работ известных ученых позволил выявить, что механизация сравнительно простых вспомогательных операций в тех областях техники, где по условиям технологического процесса не целесообразно пространственное движение рабочего органа – задача, требующая решения. Предложен путь решения поставленной задачи на основе создания устройств захвата и переноса изделий в виде комбинированных механизмов с использованием одного привода, при этом звено, несущее рабочий орган, выполнено двуплечим и в интервале кинематического цикла совершает сложное движение.

На рис. 1 представлена кинематическая схема устройства захвата и переноса изделий со сложным движением двуплечего звена, несущего рабочий орган. Это устройство выполнено в виде комбинированного механизма, содержащего передаточный и исполнительный механизмы, а также привод (на рис. 1 не показан) [4]. Передаточный механизм устройства – многозвенный рычажно-зубчатый механизм. Он содержит кривошип **1**, ползун **2**, кулису **3**, штангу **6**, зубчатые колеса **7** и **8**, двуплечее звено **9** (плечи **А** и **Б**), поворотную направляющую **10**. Кулиса **3** состоит из подвижного стержня **4** и рамки **5** для кинематической связи с ползуном **2.** Стержень **4** смонтирован в неподвижных направляющих, рамка **5** жестко связана со стержнем **4.** Зубчатые колеса **7** и **8** смонтированы на общей оси и жестко связаны между собой. Названные колеса сопряжены с зубчатыми рейками, жестко укрепленными на стержне **4** и штанге **6**. Зубчатые колеса **7** и **8** имеют разные диаметры делительных окружностей. Исполнительный механизм устройства захвата и переноса изделий – рычажно-кулачковый механизм. Этот механизм установлен на пальце **11** плеча **Б** звена **9**. Исполнительный механизм содержит рычаги **12** и **13** с губками, копир **14** с фигурными пазами **15** и **16** для взаимодействия с роликами **17**. Ролики **17** смонтированы на свободных концах рычагов **12** и **13**. Двуплечее звено **9,** несущее рабочий орган, совершает сложение движение – возвратно-поворотное и возвратно-поступательное вдоль своей продольной оси.

Функция положения двуплечего звена **9** в его поворотном движении (рис. 1) равна

$$\gamma(\varphi) = \Pi(\varphi) = 2 \cdot arctg(2 \cdot \lambda \cdot sin(\varphi)), \qquad (1)$$

где λ – относительная длина кривошипа **1**, $\lambda = \frac{l_1}{n \cdot h}$; l_1 – длина кривошипа 1; n – передаточное число зубчатых колес 7 и 8; h – расстояние от оси поворота двуплечего звена **9** до линии хода штанги **6** (рис. 1); φ – угол поворота кривошипа **1.** Отсчёт угла φ принят от крайнего правого положения рычажно-зубчатого механизма.

Середа Наталья Александровна, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Теория механизмов и машин и детали машин». E-mail: seredanal@mail.ru

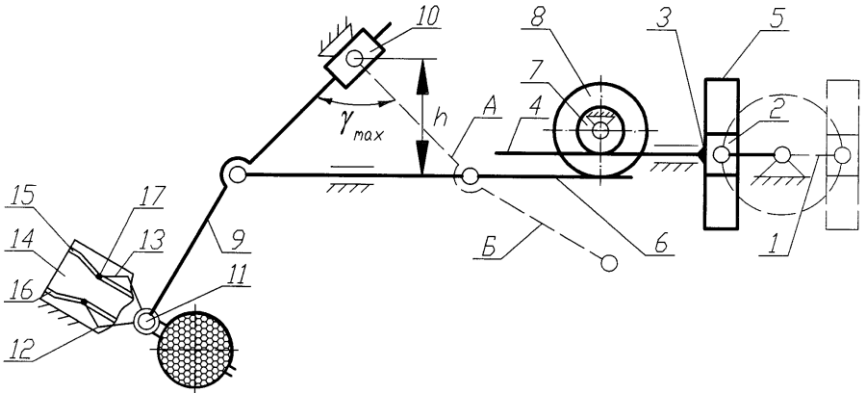

Рис. 1. Кинематическая схема устройства захвата и переноса изделий [4]

Первая и вторая геометрические передаточные функции устройства по рис. 1 составят

$$\theta(\varphi) = \Pi'(\varphi) = \frac{d\gamma}{d\varphi} = \frac{4 \cdot \lambda \cdot sin(\varphi)}{(1 + 4 \cdot \lambda^2 \cdot sin^2(\varphi))}, \quad (2)$$

$$\zeta(\varphi) = \Pi''(\varphi) = \frac{d^2\gamma}{d\varphi^2} =$$

$$= -\frac{4 \cdot \lambda \cdot sin(\varphi) \cdot \left[1 + 8 \cdot \lambda^2 - 4 \cdot \lambda^2 \cdot sin^2(\varphi)\right]}{\left[1 + 4 \cdot \lambda^2 \cdot sin^2(\varphi)\right]^2}. \quad (3)$$

$\zeta(\varphi) =$

0
-0.196
-0.375
-0.526
-0.644
-0.728
-0.784
-0.818
-0.835
-0.84
-0.835
-0.818
-0.784
-0.728
-0.644
...

На рис. 2 представлена графическая интерпретация зависимостей (1) – (3) при значении $\lambda = 0{,}21$.

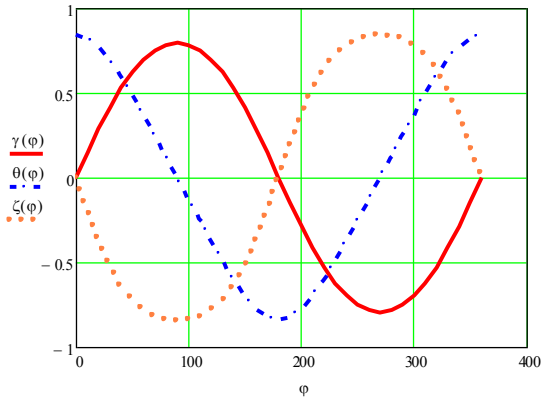

Рис. 2. Функция положения, первая и вторая геометрические передаточные функции двуплечего звена, несущего рабочий орган

Анализ рис. 2 показал, что возвратно-поворотная составляющая сложного движения двуплечего звена **9**, несущего рабочий орган, осуществляется по гармоническому закону – закону синуса. Поворотная составляющая сложного движения двуплечего звена в значительной мере определяет траекторию движения пальца **11**, несущего рабочий орган с изделием. Функции на рис. 2 изменяются плавно, не имеют разрывов непрерывности, что свидетельствует о безударном характере движения двуплечего звена. Выполнение звена **9** двуплечим предопределяет сложное движение этого звена, что расширяет технологические возможности использования устройства. При этом увеличение длины плеча **Б** звена, несущего рабочий орган, усиливает влияние поворотной составляющей сложного движения этого звена на траекторию движения рычагов с губками для захвата изделий. На рис. 3 приведена кинематическая схема устройства для захвата и переноса изделий. Устройство включает передаточный и исполнительный механизмы, а также привод (на рис. 3 не показан) [5].

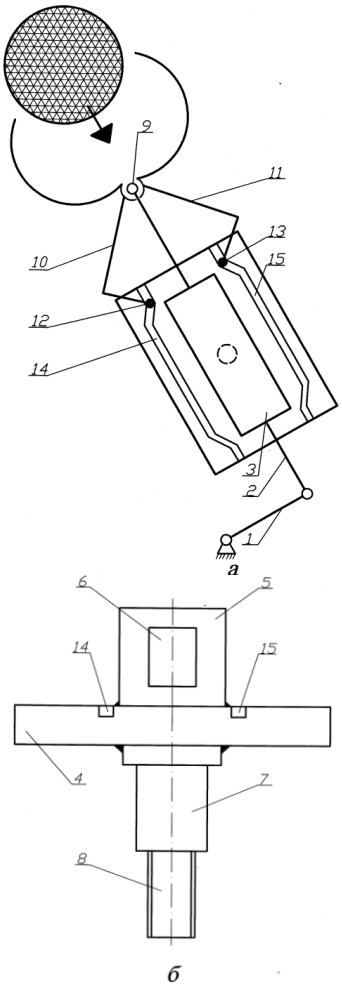

Рис. 3. Устройство для захвата и переноса изделий [5]: *а* – кинематическая схема; *б* – стержень **3** передаточного механизма

Передаточный механизм выполнен в виде кулисного механизма. Он содержит кривошип **1**, кулису **2**, пустотелый стержень **3**. Кривошип закреплен на валу привода, кулиса шарнирно связана с кривошипом и подвижно сопряжена со стержнем. Стержень шарнирно связан со стойкой. Стержень **3** имеет определенное конструктивное оформление. Он содержит плиту **4**, направляющую **5** с отверстием **6** и палец **7**. Направляющая закреплена на плите, отверстие в направляющей – сквозное для сопряжения с кулисой **2**. Плита шарнирно связана со стойкой посредством пальца **7**, который выполнен в виде ступенчатого цилиндра. Концевая часть **8** пальца снабжена резьбой для крепежного элемента (гайки или контргайки). Исполнительный механизм выполнен в виде рычажно-кулачкового механизма и установлен на пальце **9**, жестко закрепленном на свободном конце кулисы **2**. Исполнительный механизм включает рычаги **10** и **11**, ролики **12** и **13** и продольные пазы **14** и **15**. Пазы выполнены в теле плиты **4**, ролики смонтированы на свободных концах рычагов. Звено **2**, несущее рабочий орган, совершает сложное движение, а именно: возвратно-поворотное и возвратно-поступательное вдоль продольной оси этого звена.

Функция положения звена **2** в его поворотном движении (рис. 3) составит

$$\beta(\varphi) = \Pi(\varphi) = arcsin\left(\frac{l_1 \cdot sin(\varphi)}{\sqrt{A}}\right), \quad (4)$$

где l_1 – длина кривошипа 1; $\boldsymbol{A}$ – длина части кулисы **2**, определяемая как расстояние от точки шарнирной связи кулисы и кривошипа до точки шарнирной связи стержня со стойкой, при этом $A = \sqrt{l_0^2 + l_1^2 - 2 \cdot l_0 \cdot l_1 \cdot cos(\varphi)}$; l_0 – длина стойки (межцентровое расстояние).

Отсчет угла φ принят от положения кулисного механизма, при котором продольные оси кривошипа и кулисы вытянуты в одну линию. Первая геометрическая передаточная функция звена **2** равна

$$\theta(\varphi) = \Pi'(\varphi) = \frac{d\beta}{d\varphi} = \frac{l_1 \cdot (A \cdot cos(\varphi) - l_0 \cdot l_1 \cdot sin^2(\varphi))}{A \cdot \sqrt{A - l_1^2 \cdot sin^2(\varphi)}}. \quad (5)$$

Рис. 4 содержит графическую интерпретацию зависимостей (4) и (5), полученную при принятых исходных данных: $l_0 = 120$ мм, $l_1 = 50{,}71$ мм.

Из рис. 3 и 4 видно, что функция положения звена **2** изменяется плавно в интервале кинематического цикла, имеет явно выраженный максимум в положении кулисного механизма, при котором продольные оси кривошипа и кулисы перпендикулярны. Первая геометрическая передаточная функция звена **2** максимальна в положении кулисного механизма, когда продольные оси кривошипа и кулисы вытянуты в одну линию; минимальна в положении этого механизма, при котором продольная ось кулисы наложена на кривошип.

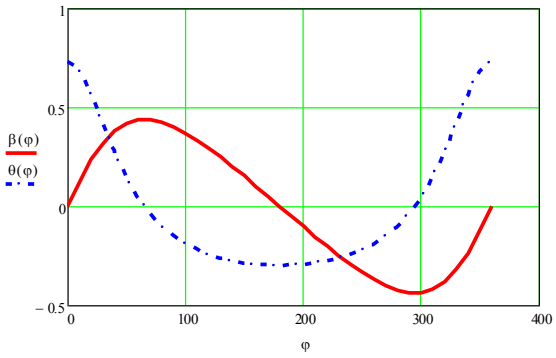

Рис. 4. Функция положения и первая геометрическая передаточная функция звена **2**, несущего рабочий орган

На рис. **5** представлена кинематическая схема устройства захвата и переноса изделий, разработанного автором. Устройство выполнено в виде комбинированного механизма, содержащего передаточный и два исполнительных механизма, а также привод (на рис. 5 не показан) [6].

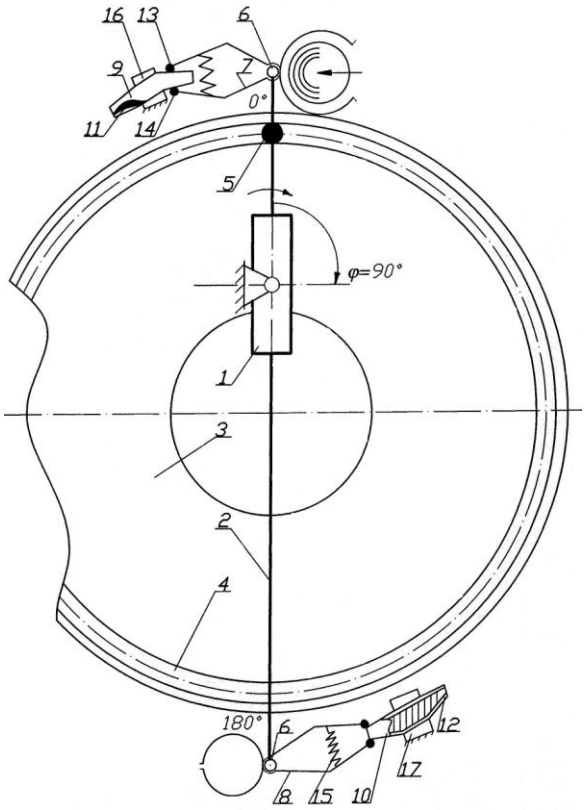

Рис. 5. Кинематическая схема устройства для захвата и переноса изделий [6]

Передаточный механизм этого устройства включает пустотелый стержень **1**, двуплечее звено **2** и копир **3**. Стержень **1** жестко связан с валом привода, звено **2** подвижно сопряжено со стержнем **1**. Копир **3** – плита с пазом **4** для взаимодействия с

роликом **5**. Каждый исполнительный механизм установлен на пальце **6**. Эти механизмы содержат рычаги **7** и **8** с губками, раздвижные клинья **9** и **10** с фигурными пазами **11** и **12** на их боковинах. На свободных концах рычагов смонтированы ролики **13** и **14** для взаимодействия с пазами клиньев. Рычаги **7** и **8** снабжены пружиной **15**. Раздвижные клинья **9** и **10** смонтированы в позициях «подача» и «выдача» изделий и закреплены на стойках **16** и **17**. Двуплечее звено **2,** несущее два рабочих органа, совершает в интервале кинематического цикла сложное движение: поворотное вокруг оси вала привода и возвратно-поступательное вдоль своей продольной оси. Принято, что одинаковым угловым перемещениям звена **2** соответствуют разные линейные перемещения, определяющие ординаты функции положения [**7**, **8**].

Функция положения двуплечего звена **2** в его поступательном движении составит

$$X(\varphi) = \Pi(\varphi) = \\ = \sqrt{l_0^2 + R^2 - 2 \cdot l_0 \cdot R \cdot cos\left(\varphi - arcsin\left[\frac{l_0 \cdot sin(\varphi)}{R}\right]\right)} - r_0 \qquad (6)$$

где l_0 – расстояние между осями копира и вала привода; R – расстояние от оси копира до средней линии его паза; r_0 – расстояние от оси вала привода до средней линии паза копира.

Первая геометрическая передаточная функция двуплечего звена **2** равна

$$\theta(\varphi) = \Pi'(\varphi) = \frac{dX}{d\varphi} = \\ = \frac{l_0 \cdot R \cdot sin\left(\varphi - arcsin\left[\frac{l_0 \cdot sin(\varphi)}{R}\right]\right) \cdot \left(1 - \frac{l_0 \cdot cos(\varphi)}{\sqrt{R^2 - l_0^2 \cdot sin^2(\varphi)}}\right)}{\sqrt{l_0^2 + R^2 - 2 \cdot l_0 \cdot R \cdot cos\left(\varphi - arcsin\left[\frac{l_0 \cdot sin(\varphi)}{R}\right]\right)}} \qquad (7)$$

На рис. 6 приведена графическая интерпретация зависимостей (6) и (7), полученная при следующих исходных данных: l_0 =1,0 м, R=1,80 м, r_0=0,80 м.

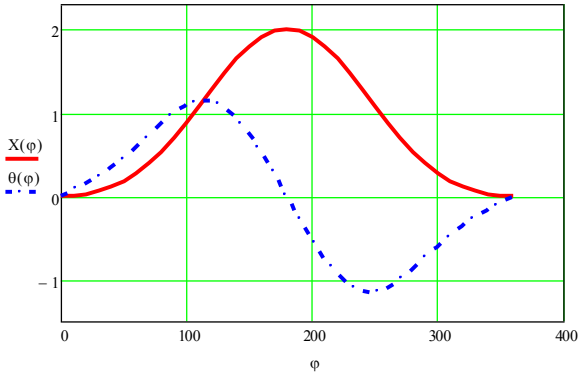

Рис. 6. Функция положения и первая геометрическая передаточная функция двуплечего звена **2**, несущего рабочие органы

Установлено (рис. 5 и 6), что функция положения двуплечего звена **2** в его поступательном движении изменяется плавно, имеет максимум при угле $\varphi = 180^\circ$, то есть в конце рабочего хода одного из исполнительных механизмов устройства. При этом значение максимума X_{max}=2 l_0. Так как функция положения в интервале кинематического цикла является кривой без изломов, то первая геометрическая передаточная функция в этом же интервале положительна на одном участке и отрицательна на другом, состоит из возрастающих и убывающих частей. Выполнение звена **2** двуплечим создает возможность для размещения двух рабочих органов на концах плеч. Это предопределяет непрерывный характер переноса изделий, что увеличивает производительность устройства по рис. 5 в 2 раза при прочих равных условиях по сравнению, например, со схемой на рис. 1.

Выводы:

1. Механизация сравнительно простых вспомогательных операций, связанных с захватом и переносом изделия в составе технологических машин и линий – задача, требующая решения.

2. Предложен путь решения задачи механизации сравнительно простых вспомогательных операций на основе создания устройств захвата и переноса изделий в виде комбинированных механизмов с использованием одного привода, при этом звено, несущее рабочий орган, выполнено двуплечим и в интервале кинематического цикла совершает сложное движение.

3. Проведен анализ трех конструкций устройств захвата и переноса изделий, при этом предметом исследования являлась функция положения, первая и вторая геометрические передаточные функции как алгоритмическая основа расчета и анализа таких устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Крайнев, А.Ф.* Словарь-справочник по механизмам. – М.: Машиностроение, 1987. 560 с.
2. *Крайнев, А.Ф.* Машиноведение на языке схем, рисунков и чертежей. Книга 2. Детали машин, соединения и механизмы. – М.: Спектр, 2010. 216 с.
3. *Козырев, Ю.Г.* Промышленные роботы: Справочник. – М.: Машиностроение, 1983. 376 с.
4. *Горлатов, А.С.* Комбинированный механизм со сложным движением выходных звеньев / *А.С. Горлатов, И.С. Аржанова*: пат. 2303520 Рос. Федерация. № 2006100427/02; заявл. 10.01.2006; опубл. 27.07.2007. Бюл. № 21. – 11 с.
5. *Горлатов, А.С.* Устройство типа «рука» для передачи изделий / *А.С. Горлатов*: пат. 2191107 Рос. Федерация. № 2002101571/02; заявл. 14.01.2002; опубл. 20.10.2002. Бюл. № 29. – 7 с.
6. *Горлатов, А.С.* Манипулятор для передачи изделий / *А.С. Горлатов, Н.А. Середа*: пат. 2376130 Рос. Федерация. № 2008122804/02; заявл. 05.06.2008; опубл. 20.12.2009. Бюл. № 35. – 7 с.

7. *Середа, Н.А.* Исследование передаточного механизма манипулятора для передачи штучных изделий. // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2014. № 7. С. 35-39.

8. *Середа, Н.А.* Анализ конструкции манипулятора для передачи штучных изделий со сложным движением ведущего звена исполнительного механизма // Техника и технология. 2013. № 2. С. 7-13.

DEVICES FOR GRIPPING AND TRANSFERRING BILLETS OF PRODUCTS WITH COMPLEX MOVEMENT OF DOUBLE ARMS LINK, CARRYING THE WORKING BODY

© 2017 N.A. Sereda

Kaliningrad State Technical University

In work the comparative analysis of constructive solutions of three devices for gripping and transferring of products is carried out. These devices are united by a general sign – availability of complex movement of double link bearing working body. Complex movement of the called link includes two simple movements in the following combination: reciprocating-rotary and reciprocation. For each of three designs of devices in an analytical type laws of movement of the double link bearing working body are received. At the same time the mathematical apparatus – function of a position, the first and second geometrical transfer functions was used. This apparatus – an algorithmic basis of calculation and the analysis of parameters of devices for gripping and transferring of products.

Key words: *device, gripping and transferring of a product, function of a position, first and second geometrical transfer functions, parameters*

Natalia Sereda, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department "Theory of Mechanisms and Machines and Machines Details". E-mail: seredanal@mail.ru