

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 621.9.06
DOI: 10.18503/1995-2732-2024-22-1-132-142



ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ АСИММЕТРИЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ ФОРМЫ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ В ДИСКОВЫХ БУНКЕРНЫХ ЗАГРУЗОЧНО-ОРИЕНТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ

Пантюхина Е.В., Васин С.А., Пантюхин О.В.

Тульский государственный университет, Тула, Россия

Аннотация. Одними из основных показателей качества технологического оборудования являются надежность, стабильность работы и производительность. На линиях автоматизированной сборки многокомпонентных изделий указанные показатели качества обеспечиваются системами автоматической загрузки собираемых компонентов (деталей, заготовок, предметов обработки), которые в большинстве случаев или поступают на производство в неориентированном положении «навалом» или теряют ориентацию на технологических переходах при выполнении операций производственного процесса. Аналогичные системы используют при контроле продукции массовых производств в инспектирующих машинах. Основным устройством таких систем является бункерное загрузочное устройство, осуществляющее ориентирование деталей. Надежное пассивное ориентирование деталей с неявной асимметрией обеспечивается путем их удаления из захватывающих органов при соблюдении следующих условий. Во-первых, конструкция захватывающих и ориентирующих органов должна способствовать тому, чтобы в верхней части бункера детали под действием силы тяжести выпадали обратно в нижнюю часть бункера – зону захвата. Во-вторых, частично запавшие в карман в неправильном положении детали должны полностью покинуть не только захватывающий орган, но и те конструктивные элементы бункерного загрузочно-ориентирующего устройства, которые участвуют в подготовке деталей к захвату. Поэтому важнейшей задачей при разработке надежных конструкций бункерных загрузочно-ориентирующих устройств для деталей с неявной асимметрией является разработка математических моделей процесса пассивного ориентирования, позволяющих определить условия, при которых неориентированная деталь должна полностью удалиться из захватывающих и ориентирующих органов. В работе представлена методика построения математической модели пассивного ориентирования на примере ступенчатой цилиндрической детали с использованием уравнений Лагранжа второго рода и их численным решением, позволяющая оценить условия надежной работы бункерного загрузочно-ориентирующего устройства с радиальными прямоугольными карманами и пазами в виде гребенки.

Ключевые слова: надежность автоматической загрузки, бункерное загрузочно-ориентирующее устройство, автоматическая загрузка, автоматическая сборка, ориентирование деталей

© Пантюхина Е.В., Васин С.А., Пантюхин О.В., 2024

Для цитирования

Пантюхина Е.В., Васин С.А., Пантюхин О.В. Обеспечение надежного ориентирования асимметричных деталей формы тел вращения в дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройствах // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2024. Т. 22. №1. С. 132-142. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-1-132-142>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

ENSURING A RELIABLE ORIENTATION OF ASYMMETRIC PARTS OF THE FORM OF ROTATION BODIES IN DISK HOPPER FEEDING AND ORIENTING DEVICES

Pantukhina E.V., Vasin S.A., Pantukhin O.V.

Tula State University, Tula, Russia

Abstract. One of the main indicators of the quality of technological equipment is reliability, stability and performance. These quality indicators applied for the lines of automated assembly of multicomponent products are provided by systems for automatic feeding of components to be assembled (parts, blanks, machining items), which are mostly either delivered to production in a non-oriented position in bulk, or lose their orientation at process steps, when performing operations of the production process. Similar systems are used in the product control of mass production in inspection machines. A main device of such systems is a hopper feeding device that orients parts. A reliable passive orientation of implicitly asymmetric parts is ensured by removing them from grippers subject to the following conditions. Firstly, the design of the gripping and orienting elements should ensure that the parts in the upper part of the hopper fall back by gravity into the lower part of the hopper, the gripping zone. Secondly, the parts partially sunk into the pocket in the wrong position should completely leave not only the gripping element, but also those structural elements of the hopper feeding and orienting device that are involved in preparing the parts for gripping. Therefore, the most important task in designing reliable structures of hopper feeding and orienting devices for implicitly asymmetric parts is to develop mathematical models of the passive orientation process to determine the conditions, when a non-oriented part should be completely removed from the gripping and orienting elements. The paper presents a method of building a mathematical model of passive orientation for a stepped cylindrical part using Lagrange equations of the second kind and their numerical solution to assess the conditions for a reliable operation of the hopper feeding and orienting device with radial rectangular pockets and grooves in the form of a rack.

Keywords: reliability of automatic feeding, hopper feeding and orienting device, automatic feeding, automatic assembly, orientation of parts

For citation

Pantukhina E.V., Vasin S.A., Pantukhin O.V. Ensuring a Reliable Orientation of Asymmetric Parts of the Form of Rotation Bodies in Disk Hopper Feeding and Orienting Devices. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2024, vol. 22, no. 1, pp. 132-142. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-1-132-142>

Введение

Надежность механических дисковых бункерных грузочно-ориентирующих устройств (БЗУ) должна обеспечиваться рациональной конструкцией захватывающих и ориентирующих органов. При этом в захватывающий орган должна полностью запасть только та деталь, которая находится в правильном положении, вероятность ее западания должна быть максимальной, а размеры захватывающего органа не должны позволить одновременному западанию в него нескольких деталей; детали, находящиеся в неправильном положении, могут лишь частично запасть в карман, а величина их погружения должна быть достаточной для того, чтобы в зоне ориентирования такие детали покинули захватывающие органы одним из возможных способов [1].

Существующие средства автоматической загрузки, используемые ранее для деталей формы тел вращения с явной асимметрией, перестали эффективно функционировать для деталей с неявной асимметрией по торцам, так как перестали обеспечиваться требуемая производительность, характеризуемая количеством выданных из БЗУ правильно сориентированных деталей в единицу времени, и надежность, характеризуемая полным отсутствием выданных из БЗУ неориентированных деталей [2].

Чтобы частично запавшие в карман в неправильном положении детали полностью покинули захватывающие органы и участвующие в подготовке деталей к захвату конструктивные элементы БЗУ, для обеспечения надежности необходимо определить граничные условия и разработать математические модели процесса пассивного ориентирования деталей. Это позволит определить кинематические параметры БЗУ, при которых неориентированная деталь успеет удалиться из захватывающих и ориентирующих органов.

Анализ научных работ в данной области показал, что все они посвящены исследованию процессов активного ориентирования асимметричных деталей на вертикальных неподвижных опорах сначала в стационарных системах загрузки [3-5], а позже и в роторных с помощью гравитационных ориентаторов [6, 7]. Первые математические модели движения деталей строились на основе принципа Д'Аламбера, а позже – в форме уравнений Лагранжа второго рода. Из-за сложности решений полученных дифференциальных уравнений время ориентирования было определено приближенно после их упрощения. В работах [8, 9] рассмотрено применение уравнений Лагранжа второго рода для математического описания вращательного движения детали вокруг края диска в БЗУ с зубьями и кольцевым ориентатором без учета сил трения о боковую поверхность

кармана. Математическая модель пассивного ориентирования, при котором деталь полностью удалялась из кармана с фаской на вращающемся диске, приведена в работах [10, 11], где границы интегрирования для каждого этапа определялись графически для деталей с конкретными геометрическими параметрами, а из-за сложности функций, описывающих зависимости координат центра масс и координат приложения действующих на деталь сил от обобщенной координаты, они были преобразованы к линейным функциям.

Цель настоящей работы – разработка математической модели процесса пассивного ориентирования деталей при их полном удалении из органов захвата и ориентирования с учетом всех действующих на деталь сил на примере БЗУ с радиальными прямоугольными карманами и пазами в виде гребенки [12] для ступенчатых предметов обработки с неявной асимметрией, имеющих различные геометрические параметры. Решение поставленных задач базируется на использовании уравнений Лагранжа второго рода и их численном решении.

Общая концепция построения математической модели пассивного ориентирования деталей

Пассивное ориентирование начинает реализовываться в некоторой зоне, называемой зоной ϕ_0 пассивного ориентирования и характеризуемой диапазоном от $+\psi_0$ до $-\psi_0$, при этом деталь должна полностью удалиться из органов захвата и ориентирования за время, в течение которого вращающийся диск с неправильно расположенной в кармане деталью проходит зону ϕ_0 .

Для построения математической модели процесса пассивного ориентирования деталей в рассматриваемом БЗУ предлагается методика, включающая стадии, показанные на рис. 1.

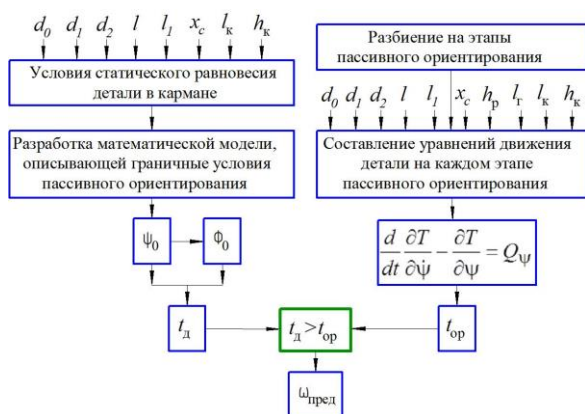


Рис. 1. Методика построения математических моделей пассивного ориентирования деталей
Fig. 1. Method of building mathematical models of passive orientation of parts

Исходными данными для построения моделей являются: d_0, d_1, d_2 – внутренний диаметр и диаметры большего и меньшего торцов детали, м; l, l_1 – общая длина и длина наибольшего торца детали, м; l_k, h_k – длина и ширина кармана, м; h_p, l_p – высота паза и его длина, м.

Задача по определению начальных условий данного процесса решается с помощью уравнений статического равновесия детали в кармане БЗУ, что позволяет определить сначала угол ψ_0 , при котором начинается движение детали, а затем всю зону ϕ_0 , на протяжении которой возможно ее полное удаление. Для определения угла ψ_0 , при котором деталь начинает выпадать из кармана, необходимо выявить все действующие на деталь силы и составить условия ее статического равновесия в кармане в виде системы уравнений.

На рис. 2 представлены схемы возможных положений асимметричных деталей перед началом их пассивного ориентирования в БЗУ различной конструкции: с радиальными карманами и кольцевым ориентатором, вращающийся диск которого имеет фаску (рис. 2, а) или выполнен без фаски (рис. 2, б); с зубьями и кольцевым ориентатором при расположении детали в момент захвата (рис. 2, в) и когда деталь принимает устойчивое положение на пути к зоне пассивного ориентирования (рис. 2, г); с тангенциальными карманами и гребенкой, когда вращающийся диск начинает переворачивать деталь и приводит её к вертикальному положению (рис. 2, д) до момента начала пассивного ориентирования (рис. 2, е).

Полученные значения ψ_0 и ϕ_0 являются начальными условиями для решения следующих задач: определение общего времени t_{op} полного удаления детали из кармана и паза диска, наклоненного к горизонту под углом α , с помощью уравнений Лагранжа второго рода (T – кинетическая энергия системы, Дж; $\psi, \dot{\psi}, Q$ – обобщенные координаты, скорость и сила) (см. рис. 1) и времени t_d , в течение которого диск проходит зону ϕ_0 .

Так как процесс пассивного ориентирования состоит из нескольких этапов в зависимости от конструкции захватывающих и ориентирующих органов БЗУ, то необходимо составить дифференциальные уравнения для каждого этапа. Решение полученных уравнений численными методами можно реализовывать в различных средах, что позволит сначала определить время движения t_i детали на каждом этапе, а затем найти общее время t_{op} пассивного ориентирования.

Сравнение значений t_{op} и t_d позволит определить диапазоны граничных значений угловой скорости ω , при которых из БЗУ не будут выдаваться неправильно сориентированные детали. Полученные значения необходимо учитывать при выборе окружной скорости захватывающих органов, отдавая предпочтения только тем ее рабочим значениям, которые не превысят предельных окружных скоростей по ориентированию.

Разработка математической модели, описывающей граничные условия пассивного ориентирования. Для решения поставленной задачи, основной целью которой является обеспечение надежности функционирования БЗУ при пассивном ориентировании предметов обработки с неявной асимметрией, оценим и проведем исследование граничных условий данного процесса. Схемы расположения в кармане ступенчатой цилиндрической детали перед началом ориентирования представлены на рис. 3.

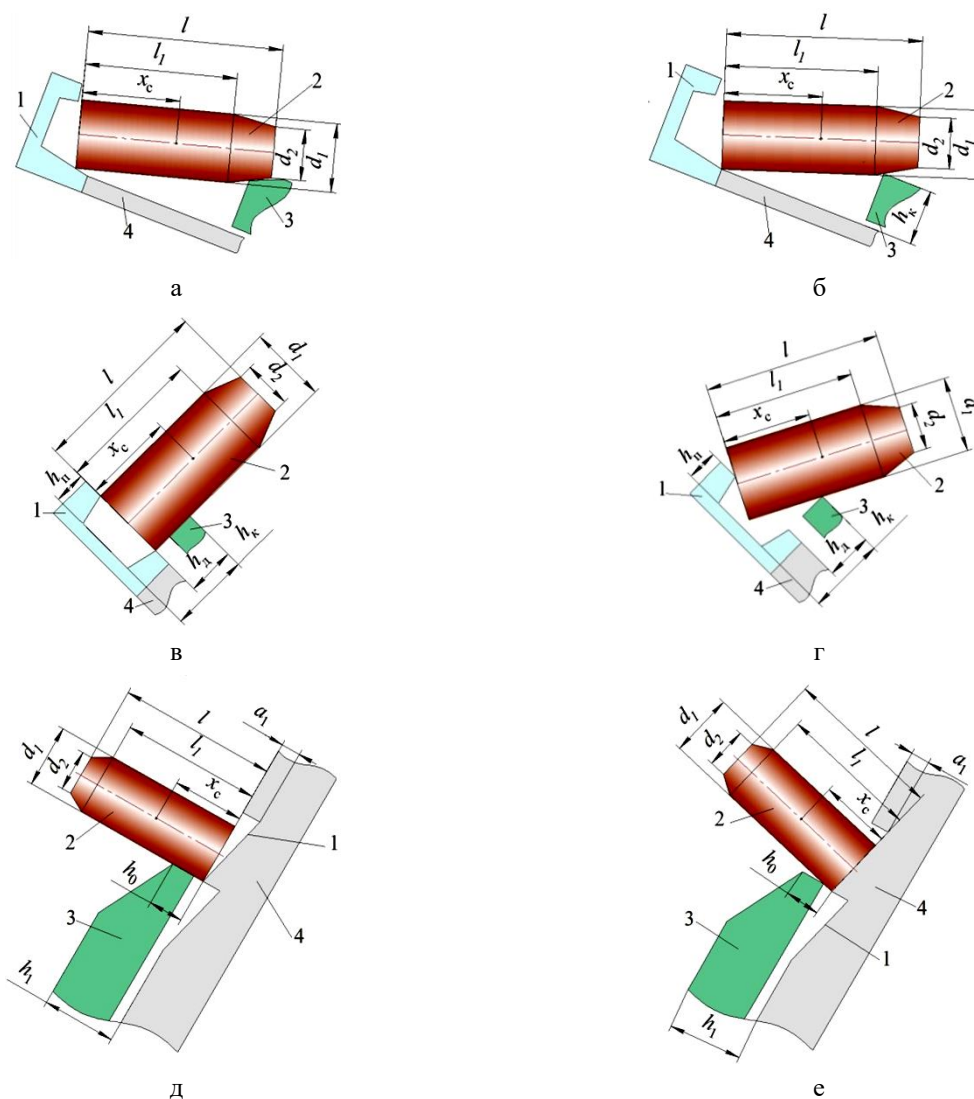


Рис. 2. Различные варианты схем пассивного ориентирования деталей: 1 – ориентирующий элемент (кольцевой ориентатор или гребенка); 2 – предмет обработки; 3 – вращающийся диск; 4 – неподвижное основание
 Fig. 2. Versions of passive orientation schemes for parts: 1 is an orientating element (a ring orientating device or rack); 2 is a part under machining; 3 is a rotating disk; 4 is a fixed base

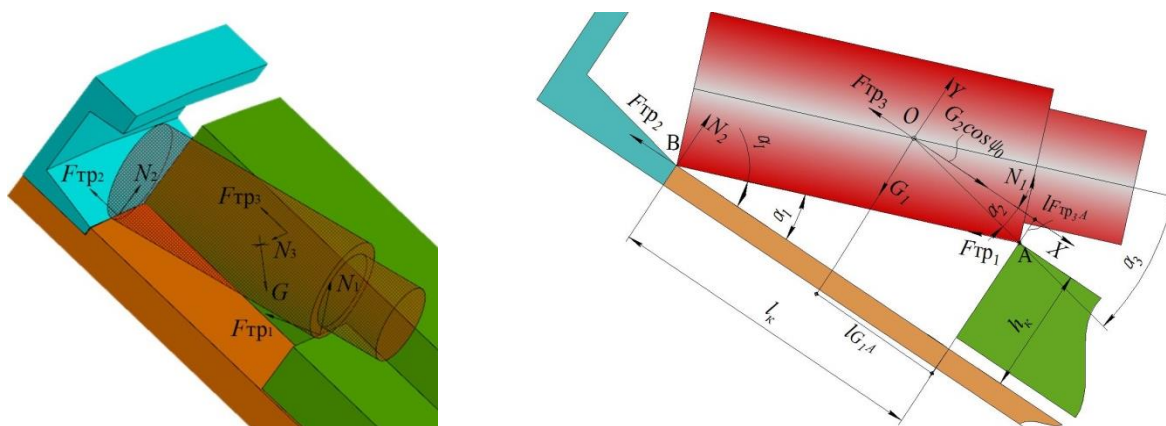


Рис. 3. Деталь в кармане и действующие на нее силы
 Fig. 3. The part in the pocket and the acting forces

Составив систему уравнений, описывающих условия равновесия детали в кармане, и выполнив преобразования, получим выражение для определения угла ψ_0 :

$$\psi_0 = \arcsin \frac{-\mu K + \sqrt{\mu^2 + 1 - K^2}}{\mu^2 + 1}, \quad (1)$$

где μ – коэффициент трения детали о стенки кармана.

$$K = \frac{\frac{\mu \cdot \cos \alpha \cdot l_{G1A} + \cos \alpha \cdot (l_k - l_{G1A}) \cdot (\sin \alpha_1 + \mu \cos \alpha_1)}{l_k + \mu \cdot h_k} + \frac{l_1}{l_1}}{\sin \alpha + \frac{\mu \cdot \sin \alpha \cdot l_{F_{TP3A}} - \sin \alpha \cdot (h_k + l_{F_{TP3A}}) \cdot (\sin \alpha_1 + \mu \cos \alpha_1)}{l_k + \mu \cdot h_k} - \frac{l_1}{l_1}}$$

$$l_{G1A} = f \cdot \cos(\alpha_3 - \alpha_1 - \alpha_2), \quad f = \sqrt{n^2 + b^2 + 2nb \cdot \cos(\alpha_3 + \beta)},$$

$$n = \sqrt{(l_1 - x_c)^2 + \frac{d_1^2}{4}}, \quad \alpha_3 = \arctan\left(\frac{l_1}{2(l_1 - x_c)}\right),$$

$$l_{F_{TP3A}} = f \cdot \sin(\alpha_3 - \alpha_1 - \alpha_2), \quad \alpha_1 = \arctan\left(\frac{h_k}{l_1}\right) - \alpha_0,$$

$$\alpha_2 = \arccos\left(\frac{n^2 + f^2 - b^2}{2nf}\right), \quad \alpha_0 = \arccos\left(\frac{h_k^2 + 2l_1^2 - b^2}{2l_1 \cdot \sqrt{h_k^2 + l_1^2}}\right),$$

$$b = \sqrt{(l_1 \cos \beta)^2 + h_k^2} - l_1 \cos \beta,$$

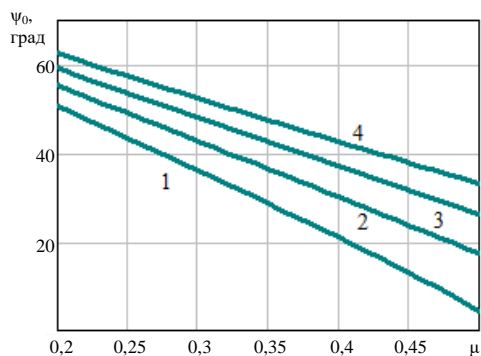
$$\beta = \arcsin\left(\frac{d_1 - d_2}{2\sqrt{0,25 \cdot (d_1 - d_2)^2 + (l - l_1)^2}}\right).$$

Угол ψ_0 , определяемый выражением (1) для ступенчатых деталей, может быть также определен с помощью графиков, приведенных на рис. 4.

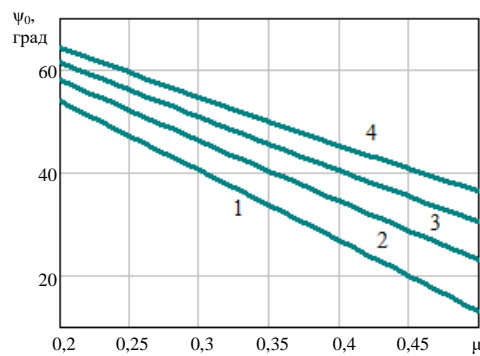
Угол, при котором начинается пассивное ориентирование, составляет от 53-65 до 4-40° и является начальным условием процесса.

Этапы пассивного ориентирования и уравнения движения детали на каждом из них. Положение ступенчатой детали в начале и конце каждого этапа показано на рис. 5. Сначала деталь движется по основанию кармана (этап 1, I-II), потом поворачивается на опоре A (этап 2, II-III) и движется по пазу сначала по начальному участку гребенки (этап 3, III-IV) и до конца гребенки (на рис. 5 не показано) до полного удаления из него. При составлении уравнений движения принимаем допущения: не учитываем рассеянную энергию и демпфирование при соударениях детали о стенки кармана.

Расчетные схемы для нахождения координат центра масс детали и обобщенной силы на всех этапах ее движения представлены на рис. 6.



а



б

Рис. 4. Зависимости угла ψ_0 от коэффициента трения для ступенчатых деталей с $l/d_1 = 3$ (а) и $l/d_1 = 4$ (б) при: 1 – $\alpha = 40^\circ$; 2 – $\alpha = 45^\circ$; 3 – $\alpha = 50^\circ$; 4 – $\alpha = 55^\circ$

Fig. 4. Dependence between angle ψ_0 and a coefficient of friction for stepped parts with $l/d_1 = 3$ (а) and $l/d_1 = 4$ (б) at 1 – $\alpha = 40^\circ$; 2 – $\alpha = 45^\circ$; 3 – $\alpha = 50^\circ$; 4 – $\alpha = 55^\circ$

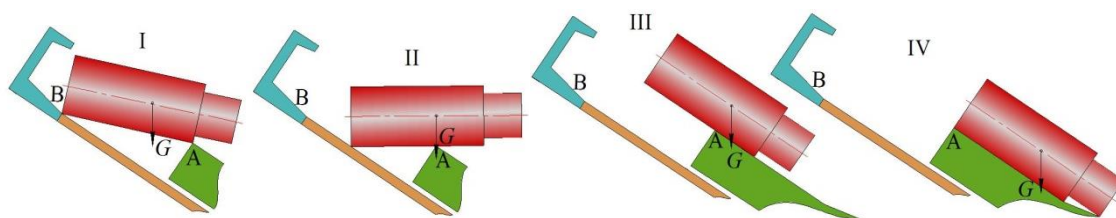


Рис. 5. Этапы пассивного ориентирования детали
Fig. 5. Stages of passive orientation of the part

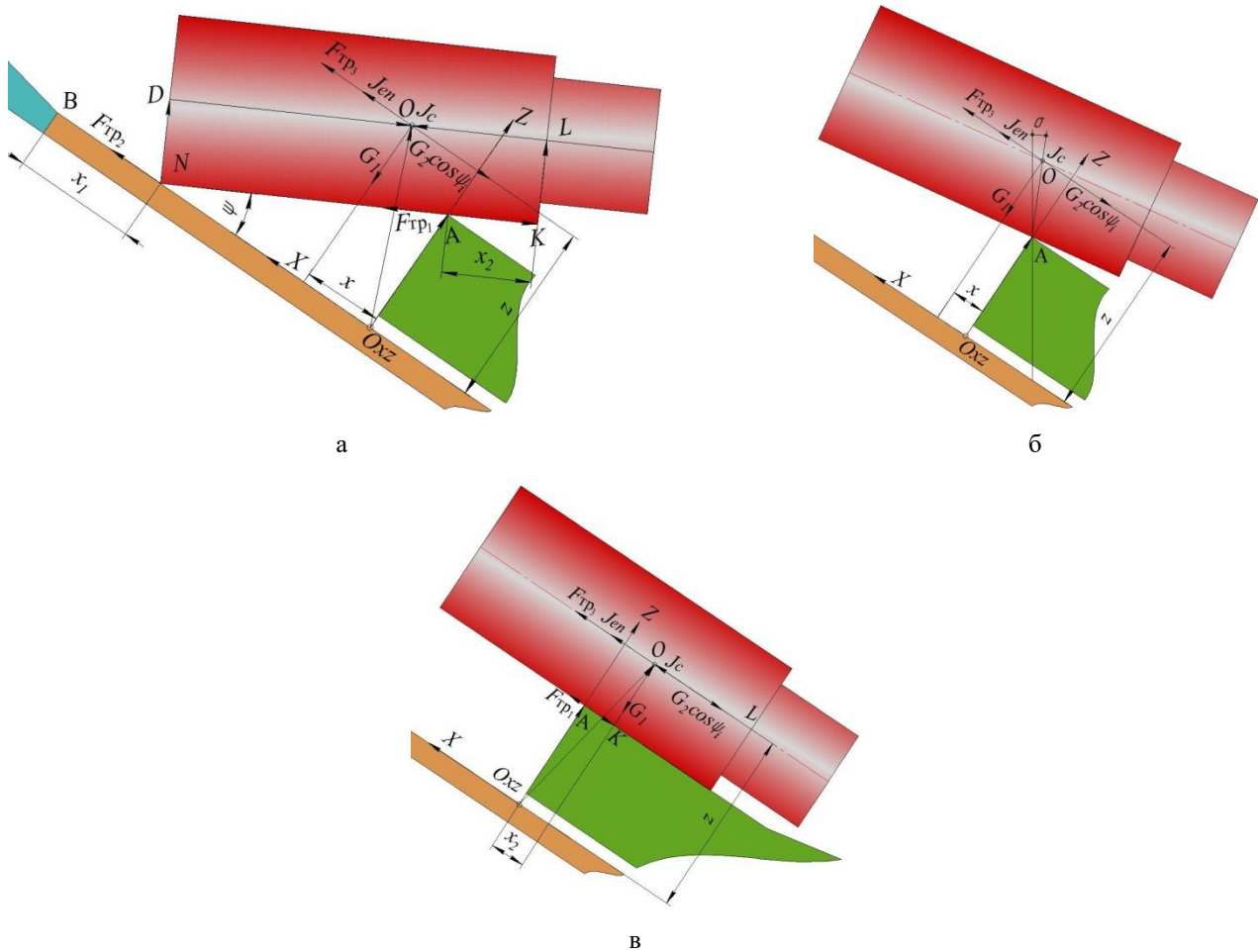


Рис. 6. Схемы для нахождения координат центра масс детали и обобщенной силы на этапах 1 (а), 2 (б) и 3 (в)
 Fig. 6. Diagrams for finding coordinates of the part center of mass and generalized force at stages 1 (a), 2 (б) and 3 (в)

Обобщенной координатой на *этапе 1* будем считать угол ψ . Тогда уравнения координат центра масс и приложений сил трения $F_{тр2}$ и $F_{тр1}$ запишем в следующем виде:

$$\begin{aligned} x_O(\psi) &= \frac{d_1}{2} \sin \psi - x_c \cos \psi + (l_k - x_1); \\ z_O(\psi) &= h_k + x_2 \sin \psi + \frac{d_1}{2} \cos \psi - (l_k - x_c) \sin \psi; \\ z_2 &= 0; \quad x_2(\psi) = x_O(\psi) - 0,5d_1 \sin \psi + x_c \cos \psi; \\ x_1 &= 0; \quad z_1 = h_k, \end{aligned}$$

где $x_2 = l_1 - \frac{h_k}{\sin \psi}$, $x_1 = l_1 - (l_1 - x_2) \cos(\psi)$ (см. рис. 6, а).

Левая часть уравнения движения

$$\begin{aligned} & \ddot{\psi} J_{тр} + \dot{\psi} \frac{d \left\{ m \left[\left(\frac{dx_O}{d\psi} \right)^2 + \left(\frac{dz_O}{d\psi} \right)^2 \right] \right\}}{dt} \\ & - \frac{\dot{\psi}^2}{2} \frac{md \left(\frac{dx_O}{d\psi} \right)^2}{d\psi} + \frac{\dot{\psi}^2}{2} \frac{md \left(\frac{dz_O}{d\psi} \right)^2}{d\psi}, \end{aligned} \quad (2)$$

а обобщенная сила

$$\begin{aligned} & \left[\left(G_2 \sin \psi_i - 2m\omega \dot{\psi} \sqrt{\left(\frac{\delta x}{\delta \psi} \right)^2 + \left(\frac{\delta z}{\delta \psi} \right)^2} \right) \mu - G_2 \cos \psi_i + m\omega^2 (R + x_0(\psi)) \right] \frac{\delta x}{\delta \psi} - \\ & \left[\left(G_2 \sin \psi_i - 2m\omega \dot{\psi} \sqrt{\left(\frac{\delta x}{\delta \psi} \right)^2 + \left(\frac{\delta z}{\delta \psi} \right)^2} \right) \mu + \right. \\ & \left. + m\omega^2 (R_1 + x_0(\psi)) - G_2 \cos \psi_i + G_1 \cdot j \right] \mu \frac{\delta x_2}{\delta \psi} - \\ & - G_1 \frac{\delta z}{\delta \psi} - \frac{d^2 x}{d\psi^2} + \frac{d^2 z}{d\psi^2} \frac{\delta x}{\delta \psi}, \\ & + 2m\mu \ddot{\psi} \frac{d^2 x}{d\psi^2} + \frac{d^2 z}{d\psi^2} \frac{\delta x}{\delta \psi}, \end{aligned} \quad (3)$$

где $j = \frac{\mu \cdot \cos \psi + \sin \psi}{\cos \psi - \mu \cdot \sin \psi}$, начальный угол определяется

как $\psi = \arctan \left(\frac{h_k}{l_1} \right)$, а конечный угол из выражения

$$\psi = \sqrt{x_c^2 + 0,25d_1^2} \cdot \sin(\alpha_2 + \psi_k) - h_k = \cos \alpha_1 \cdot \frac{d_1}{2 \cos(\alpha_1 - \psi_k)} \quad \text{В}$$

MathCad с помощью операторов *Given* и *Find* (где

$$\alpha_2 = \arcsin \frac{d_1}{2\sqrt{x_c^2 + 0,25d_1^2}}; \quad \alpha_1 = \arcsin(\cos \psi_0 \cdot \sin \alpha).$$

Решение дифференциальных уравнений движения численными методами для каждого этапа реализовано в разработанной программе в среде *MathCad* для ступенчатых деталей с $l/d_1 = 3$. На **рис. 7** приведены результаты аппроксимации координат центра масс детали и приложения силы $F_{тр2}$ в виде полиномов второй степени и численного решения дифференциального уравнения движения, где по оси X показана обобщенная координата, по оси Y – время и угловая скорость.

На *этапе 2* движения детали в качестве обобщенной координаты принимаем угол поворота центра его масс σ на опоре A (см. **рис. 6, б**), тогда координаты центра ее масс

$$x_o(\sigma) = \frac{d_1 \sin(\alpha_1 - \sigma)}{2 \cos(\alpha_1 - \psi_k)}, \quad z_o(\sigma) = \frac{d_1 \cos(\alpha_1 - \sigma)}{2 \cos(\alpha_1 - \psi_k)} + h_k.$$

Дифференциальное уравнение движения детали на этапе 2 имеет вид

$$I_o \ddot{\sigma} = \left(G_2 \sin \psi_i - 2m\omega \sqrt{\left(\frac{\delta x}{\delta \sigma}\right)^2 + \left(\frac{\delta z}{\delta \sigma}\right)^2} \right) \cdot \mu \frac{\delta x}{\delta \sigma} + m\omega^2 \left(R_1 + x_{o_3}(\sigma) \right) \frac{\delta x}{\delta \sigma} - G_2 \cos \psi_i \frac{\delta x}{\delta \sigma} - G_1 \frac{\delta z}{\delta \sigma}, \quad (4)$$

границы которого задаются начальным углом $\sigma_0 = 0$ и конечным углом $\psi_k = \psi$.

Результаты аппроксимации координат центра масс в виде полиномов второй степени и численного решения дифференциального уравнения приведены на **рис. 8**.

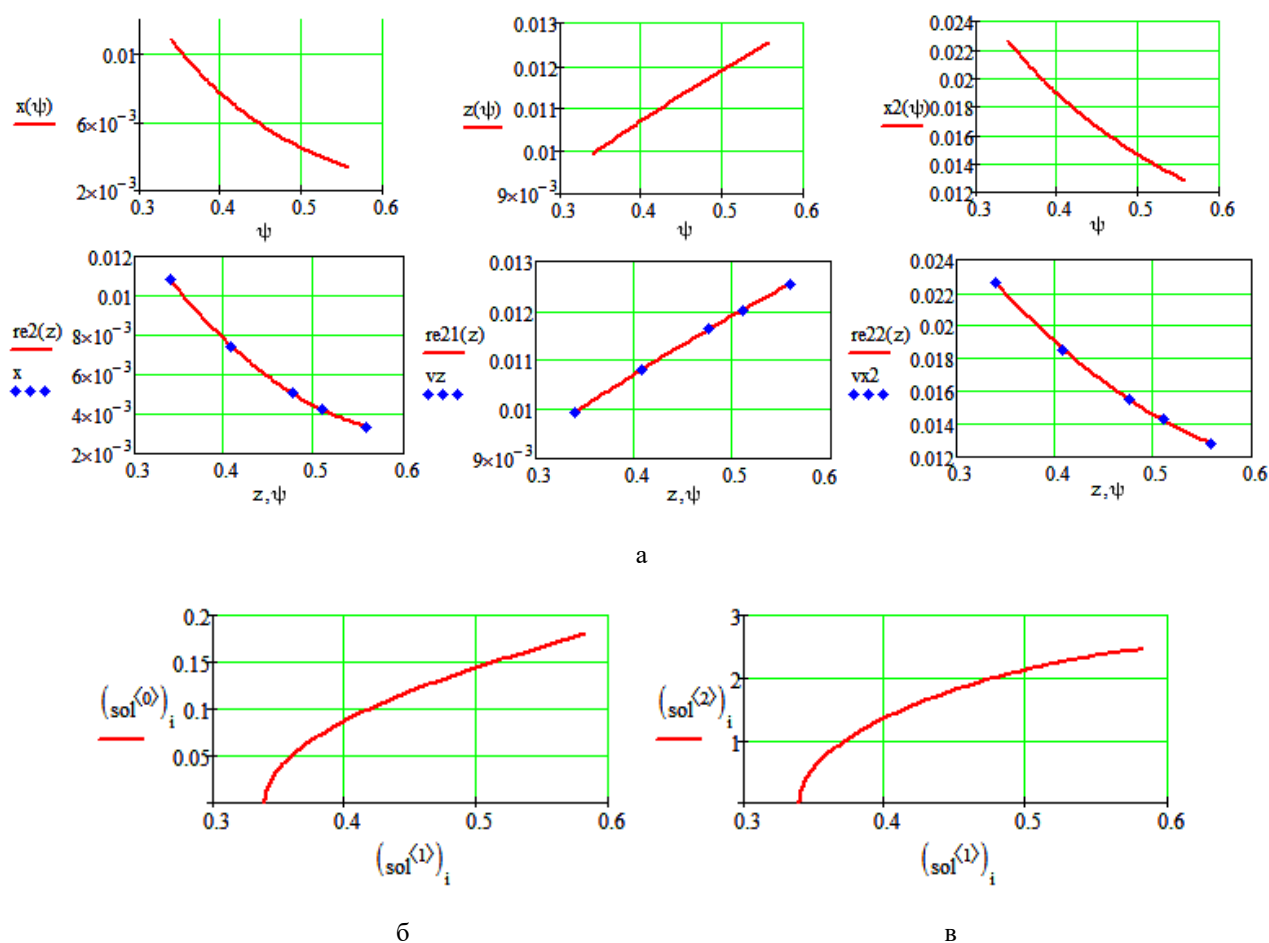


Рис. 7. Графики зависимостей для этапа 1 координат центра масс и координаты силы $F_{тр2}$ от обобщенной координаты и их аппроксимирующие функции (а) и результаты численного решения дифференциального уравнения движения времени (б) и угловой скорости (в) от обобщенной координаты

Fig. 7. Plots for stage 1 of the center of mass coordinates and force $F_{тр2}$ coordinates for the generalized coordinate and their approximating functions (a) and the results of the numerical solution of the differential equation of time motion (б) and angular velocity (в) for the generalized coordinate

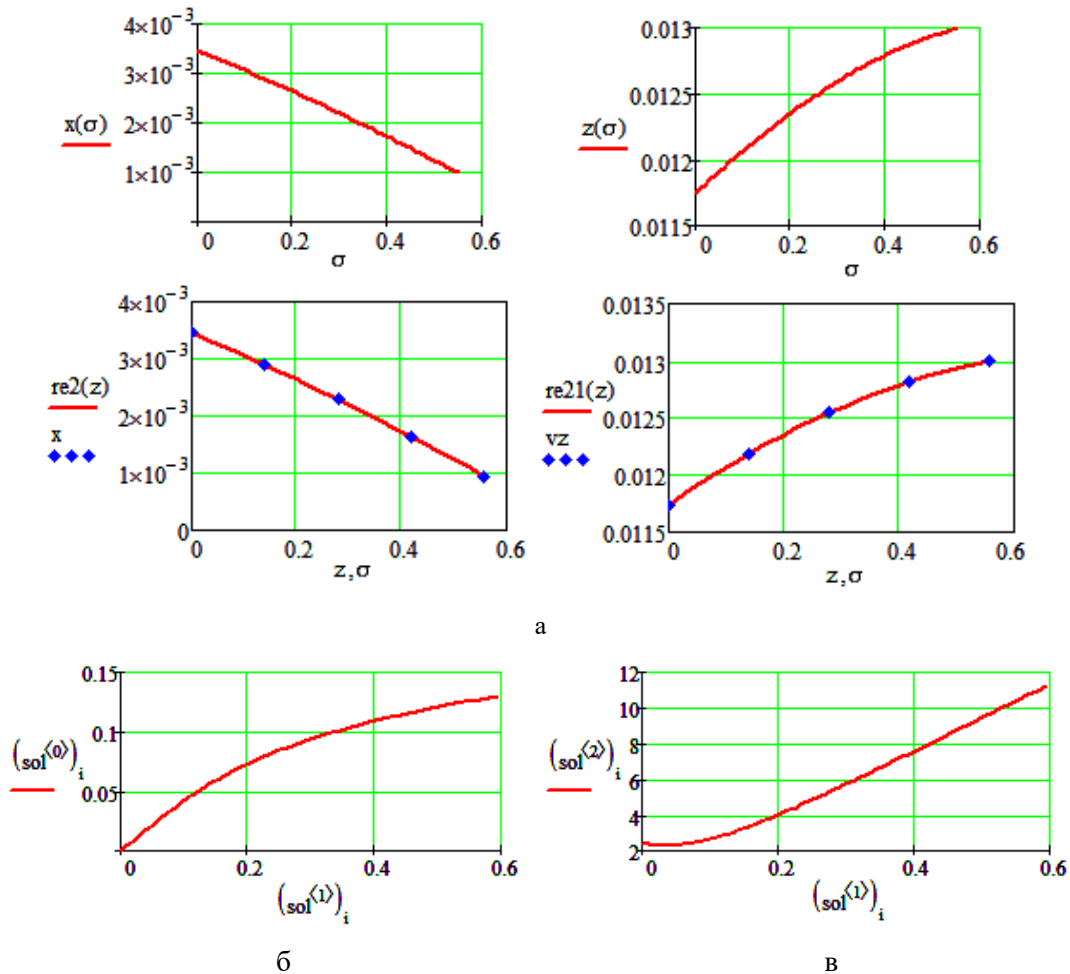


Рис. 8. Графики зависимостей для этапа 2 координат центра масс от обобщенной координаты и их аппроксимирующие функции (а) и результаты численного решения дифференциального уравнения движения времени (б) и угловой скорости (в) от обобщенной координаты

Fig. 8. Plots for stage 2 of the center of mass coordinates for the generalized coordinate and their approximating functions (a) and the results of the numerical solution of the differential equation of time movement (б) and angular velocity (в) for the generalized coordinate

На *этапе 3* обобщенной координатой считаем расстояние x_2 от опоры A до центра масс детали по оси OX (см. **рис. 6, в**). Данный этап состоит из двух подэтапов. Начальные и конечные координаты x_2 первого из них: $x_{20} = \frac{d_1}{2} \tan(\alpha_1 - \psi)$, $x_{2k} = x_c$, а второго подэтапа: $x_{20} = x_c$ и $x_{2k} = l_r + x_c$. Зависимости координат центра масс и силы трения $F_{тр1}$ от обобщенной координаты для первого подэтапа: $x_o(x_2) = -x_2$, $z_o(x_2) = h_k + 0,5d_1$, $x_1(x_2) = -x_2$, $z_1(x_2) = h_k$, а для второго подэтапа: $x_o(x_2) = -x_2$, $z_o(x_2) = h_k + 0,5d_1 + (x_2 - x_c) \tan \alpha_p$ и $x_1(x_2) = -x_2$, $z_1(x_2) = h_k + (x_2 - x_c) \tan \alpha_p$, где $\alpha_p = \arctan \frac{h_p}{l_r}$ – угол наклона гребенки, град.

Уравнения на первом (5) и втором (6) подэтапах движения детали запишем в виде

$$\ddot{x}_2 m = \left(G_2 (\mu \sin \varphi - \cos \varphi) - 2m\omega \sqrt{\left(\frac{\delta x}{\delta x_2} \right)^2 + \left(\frac{\delta z}{\delta x_2} \right)^2} + m\omega^2 (R_1 + x_{o_1}(x_2)) \right) \frac{\delta x}{\delta x_2} - G_1 \frac{\delta z}{\delta x_2} + F_{тр1} \left(\frac{\delta x_1}{\delta x_2} + \frac{\delta z_1}{\delta x_2} \right), \quad (5)$$

$$\ddot{x}_2 m = \left(G_2 (\mu \sin \varphi - \cos \varphi) - 2m\omega \sqrt{\left(\frac{\delta x}{\delta x_2} \right)^2 + \left(\frac{\delta z}{\delta x_2} \right)^2} + m\omega^2 (R_1 + x_{o_1}(x_2)) \right) \frac{\delta x}{\delta x_2} - G_1 \frac{\delta z}{\delta x_2} + F_{тр1} \left(\cos \alpha_p \frac{\delta x_1}{\delta x_2} + \sin \alpha_p \frac{\delta z_1}{\delta x_2} \right). \quad (6)$$

Графики зависимостей координат центра масс и силы трения $F_{тр1}$ от обобщенной координаты и результаты численного решения дифференциального уравнения движения на этапе 3 показаны на **рис. 9**.

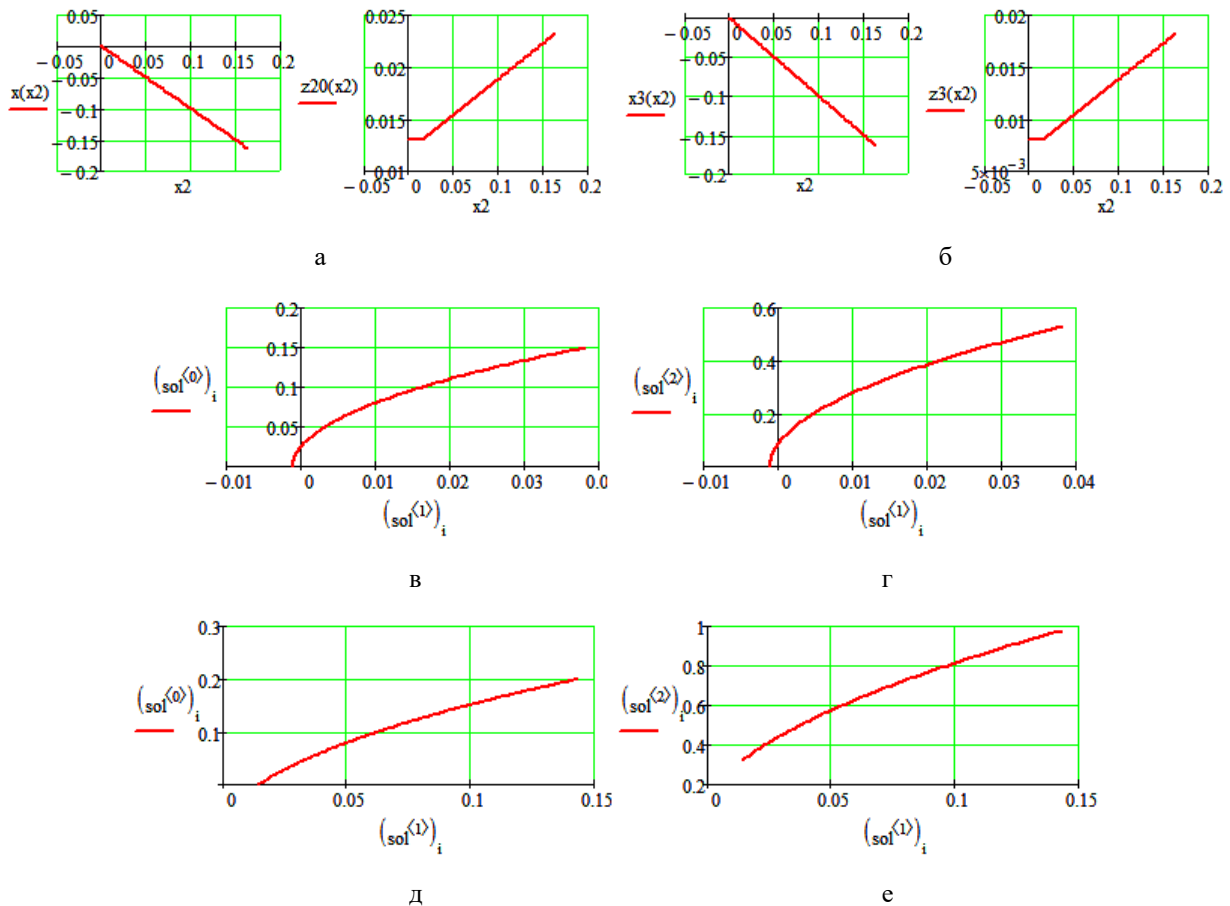


Рис. 9. Графики зависимостей координат центра масс (а) и силы $F_{Тр1}$ (б) от обобщенной координаты этапа 3 и результаты численного решения дифференциального уравнения движения времени (в, д) и угловой скорости (г, е) от обобщенной координаты для первого (в, г) и второго (д, е) подэтапов

Fig. 9. Plots of the coordinates of the center of mass (a) and force $F_{Тр1}$ (б) for the generalized coordinate at stage 3 and the results of the numerical solution of the differential equation of time motion (в, д) and angular velocity (г, е) for the generalized coordinate for the first (в, г) and second (д, е) sub-stages

Математическая модель процесса движения ступенчатой детали на всех этапах ее пассивного ориентирования, представленная дифференциальными уравнениями (2)-(6), позволяет определить общее время пассивного ориентирования: $t_{ор} = t_1 + t_2 + t_3$.

Результаты математического моделирования полного времени пассивного ориентирования ступенчатой детали с параметрами $d_1 = 0,01$ м, $d_2 = 0,007$ м, $l = 0,030$ м, массой $m = 0,016$ кг и коэффициентом трения $\mu = 0,35$ о направляющие поверхности БЗУ приведены на рис. 10.

Пересечения графиков $t_{ор}(\omega)$ и $t_{д}(\omega)$ позволяют для каждой пары значений определить предельное значение угловой скорости диска. Предельным значением угловой скорости вращающегося диска для ступенчатых деталей с указанными параметрами при $\alpha_{д} = 45^\circ$ является $\omega_{пред} \approx 1,16$ рад/с, при $\alpha_{д} = 50^\circ$ – $\omega_{пред} \approx 1,72$ рад/с, при $\alpha = 55^\circ$ – ограничений по ориентированию нет.

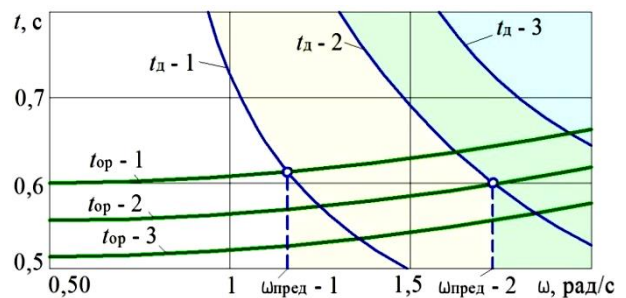


Рис. 10. Графики зависимостей времени пассивного ориентирования и времени прохождения карманом с деталью зоны ориентирования от угловой скорости при $\alpha_{д} = 45^\circ$ ($t_{ор-1}$, $t_{д-1}$), $\alpha_{д} = 50^\circ$ ($t_{ор-2}$, $t_{д-2}$) и $\alpha = 55^\circ$ ($t_{ор-3}$, $t_{д-3}$)

Fig. 10. Plots of passive orientation time and travelling time of the pocket with the part along the orientation zone for angular velocity at $\alpha_{д} = 45^\circ$ ($t_{ор-1}$, $t_{д-1}$), $\alpha_{д} = 50^\circ$ ($t_{ор-2}$, $t_{д-2}$) and $\alpha = 55^\circ$ ($t_{ор-3}$, $t_{д-3}$)

Заключение

Рассмотренная в работе методика и разработанная на ее основе математическая модель движения деталей при их ориентировании в механических дисковых БЗУ позволяют получить значения кинематических параметров БЗУ, при которых оно будет надежно функционировать в зависимости от типа и геометрических параметров детали, а также конструктивных параметров БЗУ. Это позволит обеспечить повышение основных показателей качества сборочного оборудования при загрузке изделий массового выпуска на предприятиях машино- и приборостроительных отраслей промышленности.

Список источников

1. Дьякова Э.В. Способы ориентирования близких к равноразмерным деталей с асимметрией по торцам в механических бункерных загрузочных устройствах // Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. №10. С. 105-110.
2. Прейс В.В. Надежность автоматических роторно-конвейерных линий для сборки многоэлементных изделий // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2003. №10. С. 17-22.
3. Автоматизация загрузки прессов штучными заготовками / В.Ф. Прейс [и др.]; под ред. В.Ф. Прейса. М.: Машиностроение, 1975. 280 с.
4. Рожковский В.Д., Прейс В.Ф. Исследование условий поворота полуфабрикатов на ножах, расположенных на наклонном вращающемся диске // Труды Тульского механического института. Тула: Оборонгиз, 1951. №5. С. 64-79.
5. Анчишкина Л.Ф., Рожковский В.Д., Прейс В.Ф. Ориентирование деталей в гравитационном поле // Автоматизация в машиностроении и приборостроении. Киев: Техника, 1968. С. 100-120.
6. Астраханцев А.Г., Прейс В.В. Кинематика процесса ориентирования предмета обработки в гравитационном ориентаторе с L-образным захватом // Известия ТулГУ. Технические науки. 2007. №3. С. 12-18.
7. Пахомов И.Н., Прейс В.В. Математическая модель процесса ориентирования асимметричного по торцам предмета обработки в гравитационном ориентаторе с маятниковым L-образным захватом // Известия ТулГУ. Технические науки. 2012. №12-2. С. 48-59.
8. Пантюхина Е.В., Прейс В.В., Хачатурян А.В. Динамика процесса пассивного ориентирования деталей в механическом зубчатом бункерном загрузочном устройстве // Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. №3. С. 394-401.
9. Хачатурян А.В., Прейс В.В. Теоретическая и экспериментальная оценка времени пассивного ориентирования штучных деталей, асимметричных по торцам, в механическом зубчатом бункерном загрузочном устройстве // Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. №6. С. 303-312.

10. Pantyukhina E.V., Preis V.V., Pantyukhin O.V. Passive orientation of the parts in the mechanical disk hopper feeding device with an annular orientator and radial grooves // J. Phys.: Conf. Ser. 2021, vol. 1791, 012105.
11. Пантюхина Е.В., Прейс В.В., Пантюхин О.В. Пассивное ориентирование деталей в механическом дисковом бункерном загрузочном устройстве с кольцевым ориентатором и радиальными пазами // Динамика систем, механизмов и машин. 2020. Т. 8. №2. С. 73-83.
12. Пат. 2720017 Российская Федерация, МПК В23Q 7/02. Бункерное загрузочное устройство для цилиндрических заготовок с конической формой одной из концевых частей / В.В. Прейс, Е.В. Пантюхина; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ТулГУ». № 2019119579; заявл. 21.06.2019; опубл. 23.04.2020.

References

1. Dyakova E.V. Methods of orienting parts close to equal-sized ones with asymmetry at the ends in mechanical hopper loading devices. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki* [News of Tula State University. Technical Sciences]. 2021;(10):105-110. (In Russ.)
2. Preis V.V. Reliability of automatic rotary conveyor lines for assembling multi-element products. *Sbornka v mashinostroenii, priborostroenii* [Assembly in Mechanical Engineering, Instrument Engineering]. 2003;(10):17-22. (In Russ.)
3. Preis V.F. et al. *Avtomatizatsiya zagruzki pressov shtuchnymi zagotovkami* [Automation of press feeding with piece blanks]. Moscow: Mashinostroenie, 1975, 280 p. (In Russ.)
4. Rozhkovsky V.D., Preis V.F. Study on the turning conditions of semi-finished products on knives located on an inclined rotating disk. *Trudy Tul'skogo mekhanicheskogo instituta* [Proceedings of Tula Mechanical Institute]. Tula: Oborongiz, 1951;(5):64-79. (In Russ.)
5. Anchishkina L.F., Rozhkovsky V.D., Preis V.F. Orientation of parts in a gravitational field. *Avtomatizatsiya v mashinostroenii i priborostroenii* [Automation in Mechanical and Instrument Engineering]. Kyiv: Tekhnika, 1968:100-120. (In Russ.)
6. Astrakhantsev A.G., Preis V.V. Kinematics of the process of orientation of an item under machining in a gravitational orienting device with an L-shaped grip. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki* [News of Tula State University. Technical Sciences]. 2007;(3):12-18. (In Russ.)
7. Pakhomov I.N., Preis V.V. A mathematical model of the process of orientation of an item under machining with asymmetry at the ends in a gravitational orienting device with a pendulum L-shaped grip. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki* [News of Tula State University. Technical Sciences]. 2012;(12-2):48-59. (In Russ.)
8. Pantyukhina E.V., Preis V.V., Khachaturian A.V. Dynamics of the process of passive orientation of

- parts in a mechanical gear hopper feeding device. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki* [News of Tula State University. Technical Sciences]. 2019;(3):394-401. (In Russ.)
9. Khachaturian A.V., Preis V.V. Theoretical and experimental estimation of passive orientation time of unit parts asymmetric at ends in a mechanical gear hopper feeding device. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki* [News of Tula State University. Technical Sciences]. 2019;(6):303-312. (In Russ.)
 10. Pantyukhina E.V., Preis V.V., Pantyukhin O.V. Passive orientation of the parts in the mechanical disk hopper feeding device with an annular orientator and radial grooves. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2021;1791:012105.
 11. Pantyukhina E.V., Preis V.V., Pantyukhin O.V. Passive orientation of the parts in the mechanical disk hopper feeding device with a ring orienting device and radial grooves. *Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin* [Dynamics of systems, mechanisms and machines]. 2020;8(2):73-83. (In Russ.)
 12. Preis V.V., Pantyukhina E.V. *Bunkernoe zagruzochnoe ustroystvo dlya tsilindricheskikh zagotovok s konicheskoy formoy odnoy iz kontsevykh chastey* [A hopper feeding device for cylindrical blanks with a conical shape of one of the end parts]. Patent RU, no. 2720017, 2020.

Поступила 10.12.2023; принята к публикации 10.01.2024; опубликована 28.03.2024
Submitted 10/12/2023; revised 10/01/2024; published 28/03/2024

Пантюхина Елена Викторовна – кандидат технических наук, доцент,
Тульский государственный университет, Тула, Россия.
Email: e.v.pant@mail.ru. ORCID 0000-0003-0200-7321

Васин Сергей Александрович – доктор технических наук, профессор,
Тульский государственный университет, Тула, Россия.
Email: vasin_sa53@mail.ru.

Пантюхин Олег Викторович – доктор технических наук, профессор,
Тульский государственный университет, Тула, Россия.
Email: olegpantyukhin@mail.ru.

Elena V. Pantyukhina – PhD (Eng.), Associate Professor,
Tula State University, Tula, Russia.
Email: e.v.pant@mail.ru. ORCID 0000-0003-0200-7321

Sergey A. Vasin – DrSc (Eng.), Professor,
Tula State University, Tula, Russia.
Email: vasin_sa53@mail.ru.

Oleg V. Pantyukhin – DrSc (Eng.), Professor,
Tula State University, Tula, Russia.
Email: olegpantyukhin@mail.ru.