

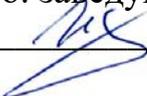
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тульский государственный университет»

Политехнический институт  
Кафедра «Промышленная автоматика и робототехника»

Утверждено на заседании кафедры  
«Промышленная автоматика  
и робототехника»  
«17» января 2023 г., протокол № 2

И.о. заведующего кафедрой

  
\_\_\_\_\_ О.А. Ерзин

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРАКТИЧЕСКИМ  
(СЕМИНАРСКИМ) ЗАНЯТИЯМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)  
«Системы автоматической загрузки штучной и нештучной  
продукции пищевой промышленности»**

**основной профессиональной образовательной программы высшего  
образования – программы магистратуры**

по направлению подготовки  
**15.04.02 Технологические машины и оборудование**

с направленностью (профилем)  
**Машины и агрегаты пищевой промышленности**

Формы обучения: очная, заочная

Идентификационный номер образовательной программы: 150402-03-23

Тула 2023 год

**Разработчик:**

Прейс В.В., профессор, д-р техн. наук, профессор  
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)

  
(ПОДПИСЬ)

## 1. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

### *Тема № 1. Конструкция, принцип действия дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства с гнездами*

#### **1. Цель занятия.**

Изучение конструкции и принципа действия механического дискового бункерного загрузочного устройства с гнездами и кольцевым ориентатором.

#### **2. Теоретическая часть.**

Одной из проблем при создании автоматизированных технологических систем в сборочных производствах многоэлементных изделий, относящихся к классу объемных осесимметричных деталей-тел вращения, является автоматическая загрузка собираемых элементов. Наличие в сборочной технологической системе нескольких параллельно работающих систем автоматической загрузки предъявляет повышенные требования к их надежности.

В течение прошлого века большинство собираемых многоэлементных изделий не претерпевали существенных изменений в форме и размерах, число их типоразмеров было ограничено, а их производство носило массовый характер. Практически все собираемые элементы имели явно выраженные, так называемые «ключи ориентации», такие как, смещение центра масс вдоль продольной оси симметрии, продольная асимметрия внешней или внутренней формы. Для автоматической загрузки таких элементов применяли и применяют до настоящего времени механические бункерные загрузочные устройства, принцип действия которых основан на использовании указанных ключей ориентации. Наибольшее распространение получили механические дисковые бункерные загрузочные устройства с наклонными или вертикальными вращающимися дисками, оснащенными захватывающими органами в виде радиально или тангенциально расположенных профильных карманов, гнезд и т.п. [1].

В последние десятилетия активно развивается разработка новых видов многоэлементных изделий не массового выпуска. В результате появились элементы с неявно выраженными ключами ориентации, а в некоторых случаях – элементы с поперечной асимметрией. Все это привело к значительному снижению производительности и надежности традиционных конструкций бункерных загрузочных устройств, а в отдельных случаях – к невозможности их практического применения.

Реализация ряда новых технических идей позволила авторам разработать усовершенствованные конструкции механических дисковых бункерных загрузочных устройств для эффективной загрузки элементов с неявно выраженной асимметрией центра масс или внешней формы с производительностью 200...400 шт./мин [2, 3].

На рис. 1.1 представлена усовершенствованная конструкция механического зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевым ориентатором [4].

Зубчатое бункерное загрузочное устройство (рис. 1.1, *a*) содержит бункер, образованный обечайкой 1 и неподвижным основанием 2, вращающийся диск 3 со сквозными гнездами 4, чередующимися с зубьями 5 для захвата деталей 6 с асимметрией торцов (*A* – цилиндрический, *B* – асимметричный).

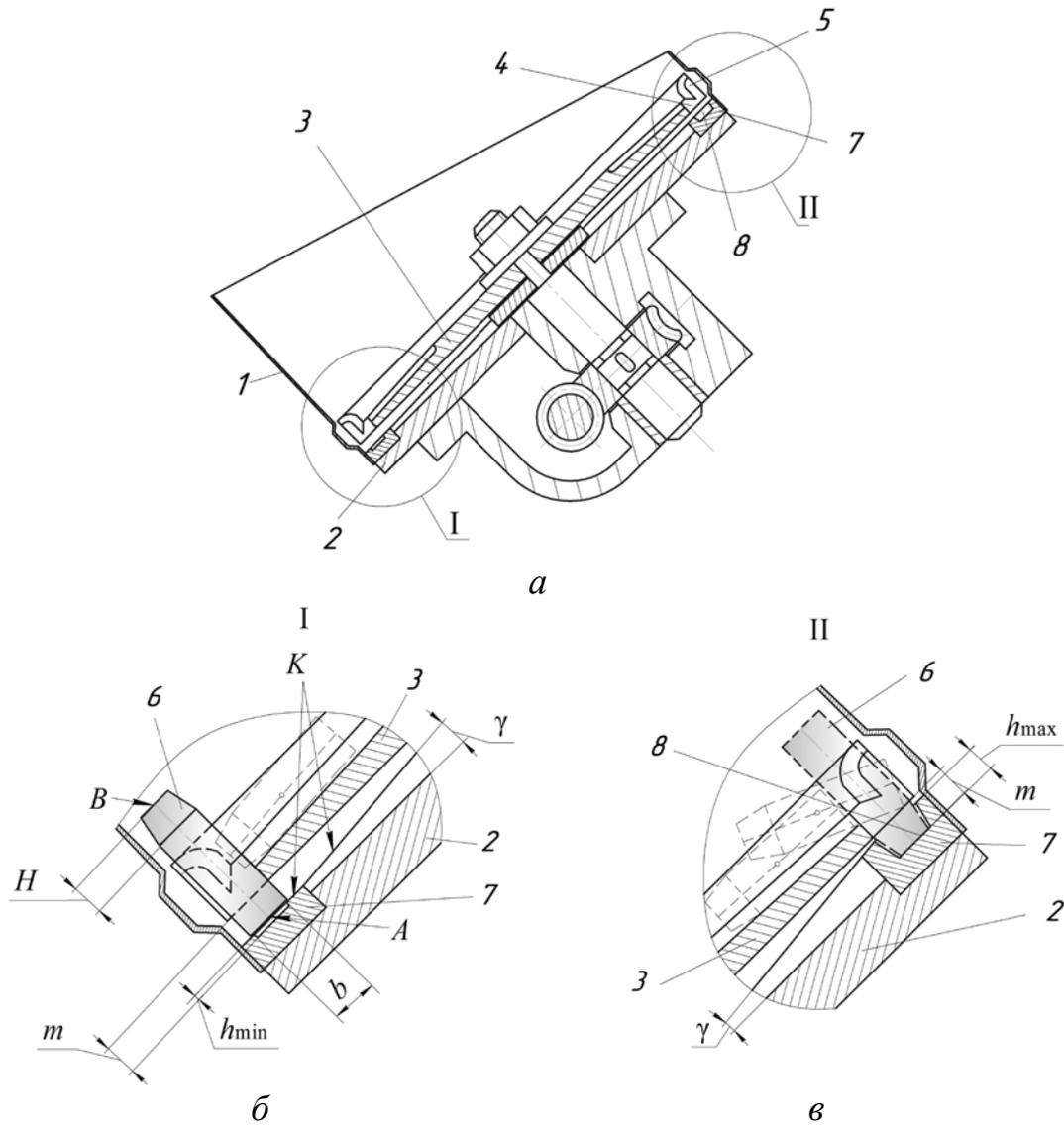


Рис. 1.1. Усовершенствованная конструкция зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевым ориентатором:  
*a* – схема в разрезе; *б*, *в* – увеличенные фрагменты участка кольцевого ориентатора, расположенного в нижней и верхней части бункера

На неподвижном основании под вращающимся диском установлен кольцевой ориентатор 7 с пазом 8, сечение которого повторяет профиль асимметричного торца детали, при этом ширина  $b$  верхней части паза не превышает диаметр торца *A*. Сечение паза плавно изменяется по направлению вращения диска так, что на участке кольцевого ориентатора, расположенного в нижней части бункера, глубина  $h_{\min}$  паза минимальна и не превышает  $\frac{1}{4}$  высоты  $H$  тор-

ца  $B$  детали, а в верхней части бункера глубина  $h_{\max}$  паза максимальна и не превышает  $H$ . Расстояние  $t$  от дна паза до поверхности вращающегося диска остается неизменным по всей окружности кольцевого ориентатора (рис. 1.1, б). Торцовая поверхность  $K$  кольцевого ориентатора выполнена криволинейной и направление её подъема совпадает с направлением вращения диска. Угол подъема  $\gamma$  торцовой поверхности  $K$  не превышает угла трения  $\rho = \arctg \mu$ , где  $\mu$  – коэффициент трения скольжения торца  $A$  детали по торцовой поверхности  $K$  (рис. 1.1, в).

При вращении диска, детали, засыпанные в бункер, ворошатся, пересыпаются и западают в сквозные гнезда или попадают на зубья и, поворачиваясь вокруг них, также западают в сквозные гнезда. Детали, запавшие в сквозные гнезда торцом  $A$  вниз, опираются им на торцовую поверхность  $K$ , так как ширина  $b$  верхней части паза не превышает диаметр торца  $A$  детали. При дальнейшем вращении диска детали, скользя по криволинейной торцовой поверхности, поднимаются в сквозных гнездах и в верхней части бункера выпадают из них под действием силы тяжести обратно в бункер.

Детали, запавшие в сквозные гнезда торцом  $B$  вниз, опираются им на дно паза кольцевого ориентатора и надежно удерживаются в сквозных гнездах, так как расстояние  $t$  от дна паза до поверхности вращающегося диска остается неизменным по всей окружности кольцевого ориентатора. При дальнейшем вращении диска детали, скользя торцом  $B$  по дну паза, перемещаются в верхнюю часть бункера. Так как глубина паза на участке кольцевого ориентатора в верхней части бункера максимальна, то детали надежно удерживаются в пазу и сквозных гнездах, перемещаются вращающимся диском в зону выдачи и выдаются из сквозных гнезд в приемник.

Дальнейшее совершенствование зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевым ориентатором было направлено на повышение надежности выдачи из захватывающих гнезд в приемник легких пустотелых деталей путем установки в зоне выдачи деталей вращающейся зубчатой звездочки [5].

На рис. 1.2, а показан общий вид (в разрезе) усовершенствованного бункерного загрузочного устройства. Устройство содержит бункер, образованный обечайкой  $1$  и неподвижным основанием  $2$ , вращающийся диск  $3$  со сквозными гнездами  $4$ , чередующимися с зубьями  $5$  для захвата деталей  $6$  с асимметрией торцов, один из которых  $A$  – цилиндрический, а другой  $B$  – асимметричный (конический, ступенчатый или сферический), при этом смещение центра масс  $M$  деталей  $6$  неявно выражено относительно их торцов  $A$  и  $B$  (рис. 2, б). В нижней части бункера на неподвижном основании  $2$  под вращающимся диском  $3$  установлен кольцевой ориентатор  $7$  с пазом  $8$ , обращенным к сквозным гнездам  $4$  вращающегося диска  $3$ .

В зоне выдачи деталей  $6$  в приемник  $9$  (рис. 1.2, в), над вращающимся диском  $3$  со сквозными гнездами  $4$  установлена с возможностью вращения зубчатая звездочка  $10$ , взаимодействующая своими зубьями  $11$  с зубьями  $5$  для захвата деталей  $6$ . Зубчатая звездочка  $10$  лежит в плоскости, параллельной плос-

кости вращающегося диска 3 со сквозными гнездами 4, и проходящей через центр масс  $M$  деталей 6, находящихся в сквозных гнездах 4 (рис. 1.2, *з*). Зубчатая звездочка 10 установлена с возможностью вращения на неподвижной оси 12, которая смонтирована на кронштейне 13, закрепленном на обечайке 1.

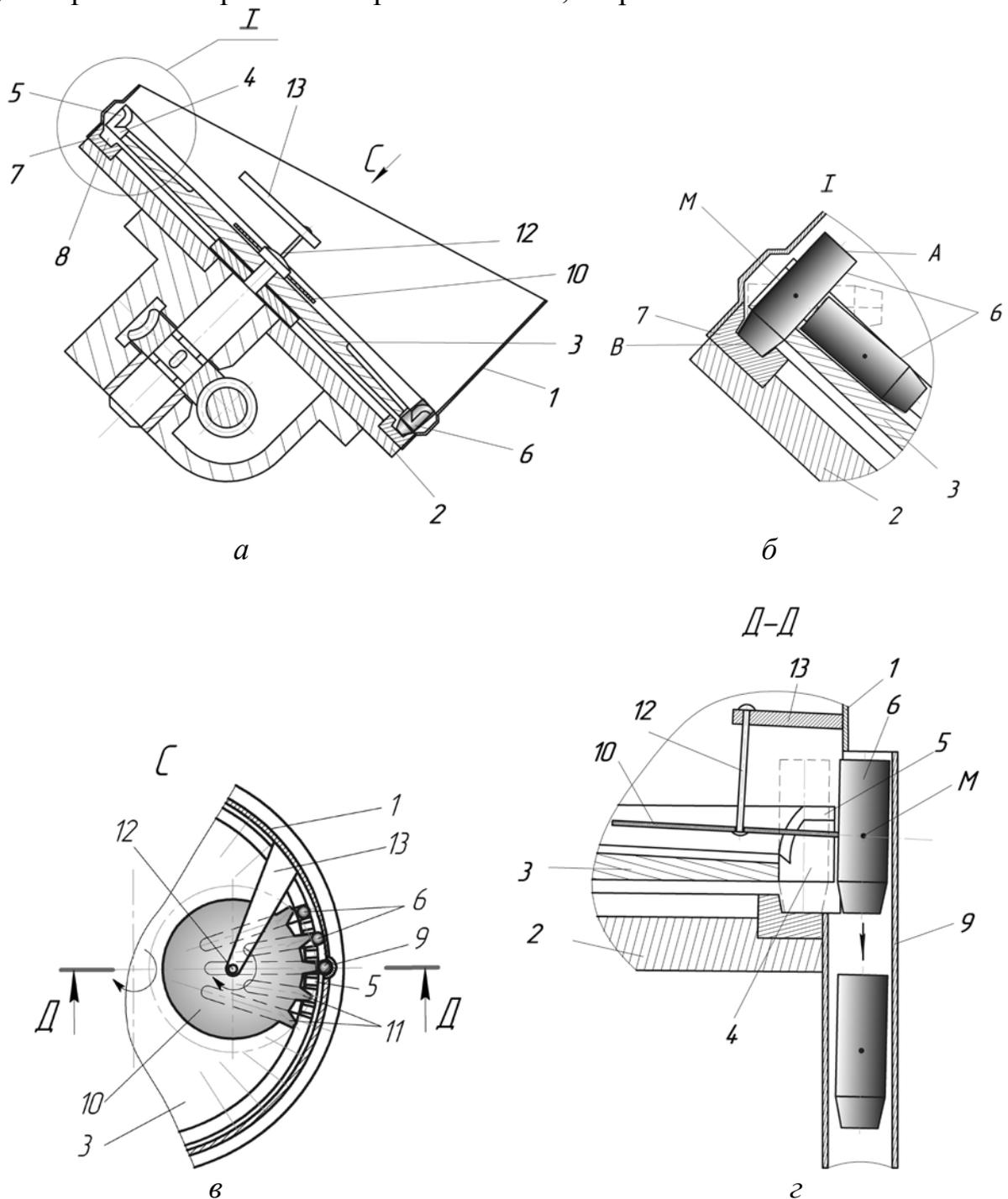


Рис. 1.2. Дискосое зубчатое бункерное загрузочное устройство с выдающей зубчатой звездочкой:  
*а* – общий вид в разрезе; *б* – положение деталей в верхней части бункера;  
*в* – вид *С* на зубчатую звездочку; *г* – разрез *Д-Д* по оси приемника в зоне выдачи детали

В зоне выдачи деталей в приемник (см. рис. 1.2, в, з) зубчатая звездочка, взаимодействуя своими зубьями с зубьями вращающегося диска, приводится во вращение. Зубья зубчатой звездочки, входя между сквозными гнездами, выталкивают детали из сквозных гнезд вращающегося диска в приемник 9. Под действием сил тяжести детали по траектории, не лежащей в плоскости оси сквозных гнезд, свободно, без задержек, перемещаются по приемнику. Расположение зубчатой звездочки в плоскости, проходящей параллельно плоскости вращающегося диска со сквозными гнездами через центр масс  $M$  деталей, обеспечивает надежную их выдачу из сквозных гнезд в приемник без нарушения ориентации.

Для исключения поломки зубчатой звездочки при заклинивании в сквозных гнездах некондиционных деталей кронштейн 13 (см. рис. 1.2, в) выполнили с возможностью поворота на неподвижной оси, закрепленной на обечайке 1, и установили предохранительную пружину растяжения, между кронштейном и обечайкой бункера [6]. В случае заклинивания некондиционной детали (например, имеющей заусенцы на цилиндрическом торце) в одном из сквозных гнезд, при подходе его к зоне выдачи, соответствующий зуб зубчатой звездочки упирается в деталь, а кронштейн 13, на котором установлена зубчатая звездочка, поворачивается вокруг неподвижной оси, преодолевая силу пружины, и зубья зубчатой звездочки выходят из зацепления с зубьями гнезд.

Разработанные конструкции механических дисковых зубчатых бункерных загрузочных устройств с кольцевым ориентатором эффективны для загрузки сплошных или пустотелых деталей с отношением общей длины к диаметру цилиндрической части от 2 до 3.

### **3. Порядок выполнения задания**

3.1. Изучить конструкцию и принцип действия механического дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства с гнездами и кольцевым ориентатором.

3.2. Проанализировать возможность применения, рассматриваемого механического дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства, для загрузки пластиковой тары, укупорочных элементов и других видов штучной продукции пищевых производств (привести примеры).

3.3. Предложить возможные пути совершенствования конструкции дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства.

3.4. Подготовить отчет.

### **4. Рекомендуемая литература**

1. Автоматическая загрузка технологических машин: Справочник / И.С. Бляхеров [и др.]; Под общ.ред. И.А. Клусова. М.: Машиностроение, 1990. 400 с.

2. Пантюхина Е.В., Прейс В.В., Хачатурян А.В. Механические дисковые бункерные загрузочные устройства для стержневых деталей с неявно выраженными ключами ориентации // Автоматизация и измерения в машино- приборостроении. 2018. № 3 (3). С. 16-25.

3. Прейс В.В., Хачатурян А.В. Совершенствование механического зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевым ориентатором для дета-

лей асимметричных по торцам // Сборник трудов VI международного научно-технического семинара «Современные технологии сборки», 17-18 октября 2019 года в г. Москве. М.: Московский Политех. 2019. С. 54-62.

4. Патент на полезную модель 159403 РФ. Бункерное загрузочное устройство / Е.В. Давыдова, В.В. Прейс, А.В. Хачатурян. Опубл. 10.02.2016. Бюл. № 4.

5. Патент на полезную модель 183611 РФ. Бункерное загрузочное устройство для деталей с неявно выраженной асимметрией торцов / Прейс В.В., Токарев В.Ю., Хачатурян А.В. Опубл. 27.09.2018. Бюл. № 27.

6. Патент на полезную модель 192153 РФ. Бункерное загрузочное устройство для деталей с неявно выраженной асимметрией торцов / Прейс В.В., Токарев В.Ю. Опубл. 05.09.2019. Бюл. № 25.

## ***Тема № 2. Математическая модель производительности дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства с гнездами***

### **1. Цель занятия.**

Изучение математической модели фактической производительности механического дискового бункерного загрузочного устройства с гнездами и кольцевым ориентатором.

### **2. Теоретическая часть.**

Фактическая производительность механических дисковых бункерных загрузочных устройств любого типа описывается следующим выражением [1]

$$P_{\text{БЗУ}} = 60 \frac{v}{t} \eta_{\text{max}} \left[ 1 - \left( \frac{v}{v_{\text{пред.}}} \right)^4 \right], \quad (1)$$

где  $v$  – окружная скорость диска по оси захватывающих органов (гнезд);  $t = \frac{2\pi R}{k}$  – шаг захватывающих органов;  $R$  – радиус диска по оси гнезд;  $k$  – число гнезд;  $\eta_{\text{max}}$  – максимальное значение вероятности захвата деталей при  $v \rightarrow 0$ ;  $v_{\text{пред.}}$  – окружная скорость диска, при которой невозможен захват деталей гнездами и производительность стремится к нулю.

Вероятность захвата детали  $\eta_{\text{max}}$  определяется произведением двух вероятностей:  $p_1$  – нахождения детали на вращающемся диске перед захватом в требуемом для захвата положении и  $p_2$  – отсутствия помех со стороны других деталей

$$\eta_{\text{max}} = p_1 p_2. \quad (2)$$

Деталь перед захватом должна находиться в положении благоприятном для захвата. При этом каждая деталь может принять столько положений, сколько поверхностей ее ограничивают. Например, деталь со сферическим торцом (рис. 3) имеет три поверхности и каждой из них может расположиться перед захватом на поверхности диска бункерного загрузочного устройства – основания I и II с разными диаметрами и цилиндрическая поверхность III.

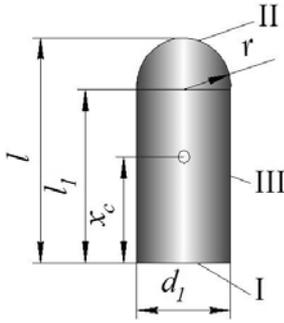


Рис. 3. Эскиз осесимметричной детали-тела вращения со сферическим торцом и её расчетные геометрические параметры

Вероятности того, что детали окажутся на поверхности вращающегося диска одной из своих поверхностей, определяются по выражениям:

$$p_I = \frac{1}{2} - \frac{l - x_c}{\sqrt{4(l - x_c)^2 + d_1^2}}; \quad p_{II} = \frac{1}{2} - \frac{x_c}{\sqrt{4x_c^2 + d_1^2}}. \quad (3)$$

Вероятность нахождения детали на цилиндрической поверхности III определяется по формуле

$$p_{III} = 1 - (p_I + p_{II}). \quad (4)$$

Вероятность  $p_I$  нахождения детали на вращающемся диске перед захватом в требуемом положении определится по выражению

$$p_I = 1 - \left(1 - p_{III} p_{12_{\max}}\right)^3 \left(1 - p_{III} p_{12_{\min}}\right)^{\frac{\pi(R-d_1)+2R}{2l}-3}, \quad (5)$$

где  $p_{12}$  – вероятность осуществления поворота, представленная в практических расчётах минимальным  $p_{12_{\min}}$  и максимальным  $p_{12_{\max}}$  значениями.

Минимальное значение вероятности  $p_{12_{\max}}$  определяется выражением

$$p_{12_{\min}} = \frac{1}{\pi} \left( \arcsin \frac{d + \Delta}{\sqrt{l_1^2 + d_1^2}} - \operatorname{arctg} \frac{d_1}{l_1} \right), \quad (6)$$

где  $\Delta$  – зазор по шагу между цилиндрической поверхностью детали и боковой поверхностью гнезда (зуба).

Максимальное значение вероятности  $p_{12_{\max}}$

$$p_{12_{\max}} = \frac{1}{\pi} \left( \operatorname{arctg} \frac{d_2}{2(l - x_c - 0,5d_1)} - \arcsin \frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha} \right), \quad (7)$$

где  $\alpha$  – угол наклона к горизонтали поверхности вращающегося диска, на которой расположены детали;  $\mu$  – коэффициент трения деталей о поверхность вращающегося диска.

Вероятность того, что процессу захвата пустотелых деталей со сферическим торцом не мешает их взаимная сцепляемость, определим по известному выражению [2]

$$p_c = 1 - \frac{\operatorname{arctg} \mu_0}{\pi A l} \left\{ 3,4 + 8,4 \left( \frac{l}{d} - \frac{l_1}{d} \right) + 3,8 \left( \frac{l_1}{d} \right)^2 + 2 \frac{|\operatorname{arctg} A 2|}{\pi} \left[ 1 + 2 \left( \frac{l_1}{d} \right)^2 \right] \right\}, \quad (8)$$

$$\text{где } A1 = 6 \left[ 1 + 2 \frac{l}{d} - 2 \frac{l_1}{d} \left( 1 - \frac{l_1}{d} \right) \right]; \quad A2 = \frac{\frac{d}{2r} + \mu_0 \sqrt{1 - \left( \frac{d}{2r} \right)^2}}{\sqrt{1 - \left( \frac{d}{2r} \right)^2} - \frac{d}{2r} \mu_0}; \quad r = \frac{(l - l_1)^2 + 0,25d_1^2}{2(l - l_1)} \quad \text{– радиус}$$

сферического торца детали (см. рис. 3);  $\mu_0$  – коэффициент трения деталей между собой.

Значение окружной скорости диска с захватывающими органами, при которой невозможен захват деталей, определяется по выражению [3]

$$v_{\text{пред.}} = \left[ \frac{2\pi(R - 0,5d_1)}{k} - 0,5 \frac{(h_3^2 + d_1^2) + h_3 \sqrt{h_3^2 + d_1^2}}{h_3 + \sqrt{h_3^2 + d_1^2}} \right] \sqrt{\frac{g \sin \alpha}{d_1}}, \quad (9)$$

где  $h_3 = \frac{2\pi R}{k} - d - \Delta$  – толщина зуба.

Совокупность выражений (1) – (9) представляет собой математическую модель, которая может быть использована для расчета фактической производительности механического дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства на стадии проектирования.

### 3. Содержание и порядок выполнения задания

3.1. Изучить теоретические основы и методику построения математической модели фактической производительности механического дискового бункерного загрузочного устройства с гнездами и кольцевым ориентатором, используя рекомендуемую литературу.

3.2. Провести тестирование математических выражений по заданным исходным данным, используя программный пакет *MatCad*.

3.3. Оформить отчет.

### 4. Рекомендуемая литература

1. Pantyukhina E.V., Preis V.V., Khachaturian A.V. Feed rate evaluation of mechanical toothed hopper-feeding device with ring orientator for parts, asymmetric at the ends // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1260. 2019. P. 032032. DOI:10.1088/1742-6596/1260/3/032032.

2. Автоматическая загрузка технологических машин: Справочник / И.С. Бляхеров [и др.]; Под общ.ред. И.А. Клусова. М.: Машиностроение, 1990. 400 с.

3. Хачатурян А.В., Пантюхина Е.В., Прейс В.В. Математическая модель фактической производительности зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевым ориентатором для пустотелых деталей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. № 7. С. 98-110.

4. Хачатурян А.В. Теоретические основы параметрического синтеза механического зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевым ориентатором // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 12. 2019. С. 240-249.

### **Тема № 3. Конструкция, принцип действия вертикального бункерного загрузочного устройства с роликами**

#### **1. Цель занятия.**

Изучение конструкции и принципа действия механического вертикального бункерного загрузочного устройства с роликами.

#### **2. Теоретическая часть.**

Одной из проблем при создании автоматизированных технологических систем в сборочных производствах многоэлементных изделий, относящихся к классу объемных осесимметричных деталей-тел вращения, является автоматическая загрузка собираемых элементов. Наличие в сборочной технологической системе нескольких параллельно работающих систем автоматической загрузки предъявляет повышенные требования к их надежности.

В течение прошлого века большинство собираемых многоэлементных изделий не претерпевали существенных изменений в форме и размерах, число их типоразмеров было ограничено, а их производство носило массовый характер. Практически все собираемые элементы имели явно выраженные, так называемые «ключи ориентации», такие как, смещение центра масс вдоль продольной оси симметрии, продольная асимметрия внешней или внутренней формы. Для автоматической загрузки таких элементов применяли и применяют до настоящего времени механические бункерные загрузочные устройства, принцип действия которых основан на использовании указанных ключей ориентации. Наибольшее распространение получили механические дисковые бункерные загрузочные устройства с наклонными или вертикальными вращающимися дисками, оснащенными захватывающими органами в виде радиально или тангенциально расположенных профильных карманов, гнезд и т.п. [1].

В последние десятилетия активно развивается разработка новых видов многоэлементных изделий не массового выпуска. В результате появились элементы с неявно выраженными ключами ориентации, а в некоторых случаях – элементы с поперечной асимметрией. Все это привело к значительному снижению производительности и надежности традиционных конструкций бункерных загрузочных устройств, а в отдельных случаях – к невозможности их практического применения.

Реализация ряда новых технических идей позволила авторам разработать усовершенствованные конструкции механических дисковых бункерных загрузочных устройств для эффективной загрузки элементов с неявно выраженной асимметрией центра масс или внешней формы с производительностью 200...400 шт./мин [2, 3].

На рис. 1.1 представлена усовершенствованная конструкция механического зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевым ориентатором [4].

Зубчатое бункерное загрузочное устройство (рис. 1.1, а) содержит бункер, образованный обечайкой 1 и неподвижным основанием 2, вращающийся диск 3

со сквозными гнездами 4, чередующимися с зубьями 5 для захвата деталей 6 с асимметрией торцов (*A* – цилиндрический, *B* – асимметричный).

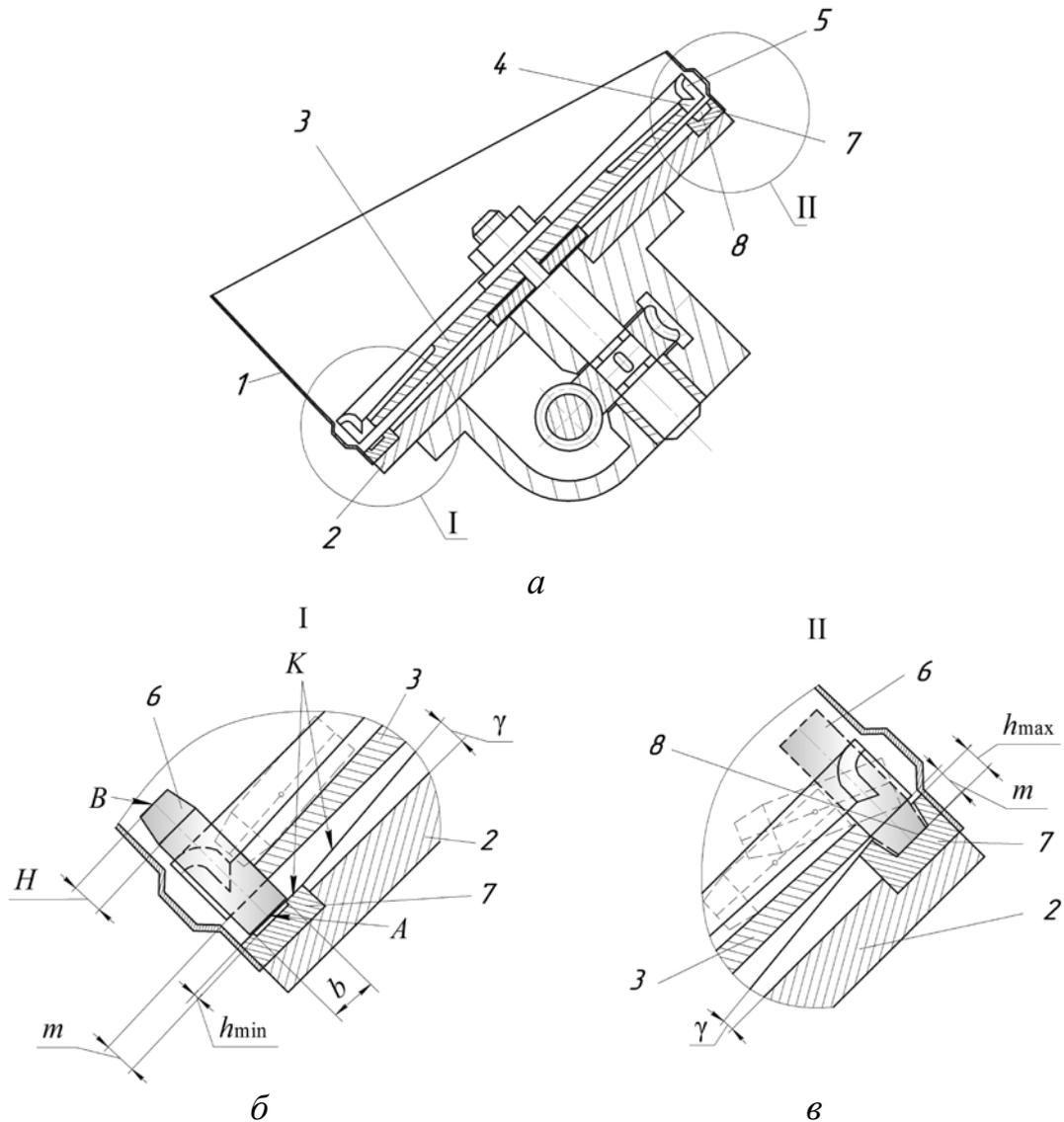


Рис. 1.1. Усовершенствованная конструкция зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевым ориентатором:  
*a* – схема в разрезе; *б*, *в* – увеличенные фрагменты участка кольцевого ориентатора, расположенного в нижней и верхней части бункера

На неподвижном основании под вращающимся диском установлен кольцевой ориентатор 7 с пазом 8, сечение которого повторяет профиль асимметричного торца детали, при этом ширина  $b$  верхней части паза не превышает диаметр торца *A*. Сечение паза плавно изменяется по направлению вращения диска так, что на участке кольцевого ориентатора, расположенного в нижней части бункера, глубина  $h_{\min}$  паза минимальна и не превышает  $\frac{1}{4}$  высоты  $H$  торца *B* детали, а в верхней части бункера глубина  $h_{\max}$  паза максимальна и не

превышает  $H$ . Расстояние  $m$  от дна паза до поверхности вращающегося диска остается неизменным по всей окружности кольцевого ориентатора (рис. 1.1, б). Торцовая поверхность  $K$  кольцевого ориентатора выполнена криволинейной и направление её подъема совпадает с направлением вращения диска. Угол подъема  $\gamma$  торцовой поверхности  $K$  не превышает угла трения  $\rho = \arctg \mu$ , где  $\mu$  – коэффициент трения скольжения торца  $A$  детали по торцовой поверхности  $K$  (рис. 1.1, в).

При вращении диска, детали, засыпанные в бункер, ворошатся, пересыпаются и западают в сквозные гнезда или попадают на зубья и, поворачиваясь вокруг них, также западают в сквозные гнезда. Детали, запавшие в сквозные гнезда торцом  $A$  вниз, опираются им на торцовую поверхность  $K$ , так как ширина  $b$  верхней части паза не превышает диаметр торца  $A$  детали. При дальнейшем вращении диска детали, скользя по криволинейной торцовой поверхности, поднимаются в сквозных гнездах и в верхней части бункера выпадают из них под действием силы тяжести обратно в бункер.

Детали, запавшие в сквозные гнезда торцом  $B$  вниз, опираются им на дно паза кольцевого ориентатора и надежно удерживаются в сквозных гнездах, так как расстояние  $m$  от дна паза до поверхности вращающегося диска остается неизменным по всей окружности кольцевого ориентатора. При дальнейшем вращении диска детали, скользя торцом  $B$  по дну паза, перемещаются в верхнюю часть бункера. Так как глубина паза на участке кольцевого ориентатора в верхней части бункера максимальна, то детали надежно удерживаются в пазу и сквозных гнездах, перемещаются вращающимся диском в зону выдачи и выдаются из сквозных гнезд в приемник.

Дальнейшее совершенствование зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевым ориентатором было направлено на повышение надежности выдачи из захватывающих гнезд в приемник легких пустотелых деталей путем установки в зоне выдачи деталей вращающейся зубчатой звездочки [5].

На рис. 1.2, а показан общий вид (в разрезе) усовершенствованного бункерного загрузочного устройства. Устройство содержит бункер, образованный обечайкой 1 и неподвижным основанием 2, вращающийся диск 3 со сквозными гнездами 4, чередующимися с зубьями 5 для захвата деталей 6 с асимметрией торцов, один из которых  $A$  – цилиндрический, а другой  $B$  – асимметричный (конический, ступенчатый или сферический), при этом смещение центра масс  $M$  деталей 6 неявно выражено относительно их торцов  $A$  и  $B$  (рис. 2, б). В нижней части бункера на неподвижном основании 2 под вращающимся диском 3 установлен кольцевой ориентатор 7 с пазом 8, обращенным к сквозным гнездам 4 вращающегося диска 3.

В зоне выдачи деталей 6 в приемник 9 (рис. 1.2, в), над вращающимся диском 3 со сквозными гнездами 4 установлена с возможностью вращения зубчатая звездочка 10, взаимодействующая своими зубьями 11 с зубьями 5 для захвата деталей 6. Зубчатая звездочка 10 лежит в плоскости, параллельной плоскости вращающегося диска 3 со сквозными гнездами 4, и проходящей через

центр масс  $M$  деталей 6, находящихся в сквозных гнездах 4 (рис. 1.2, *з*). Зубчатая звездочка 10 установлена с возможностью вращения на неподвижной оси 12, которая смонтирована на кронштейне 13, закрепленном на обечайке 1.

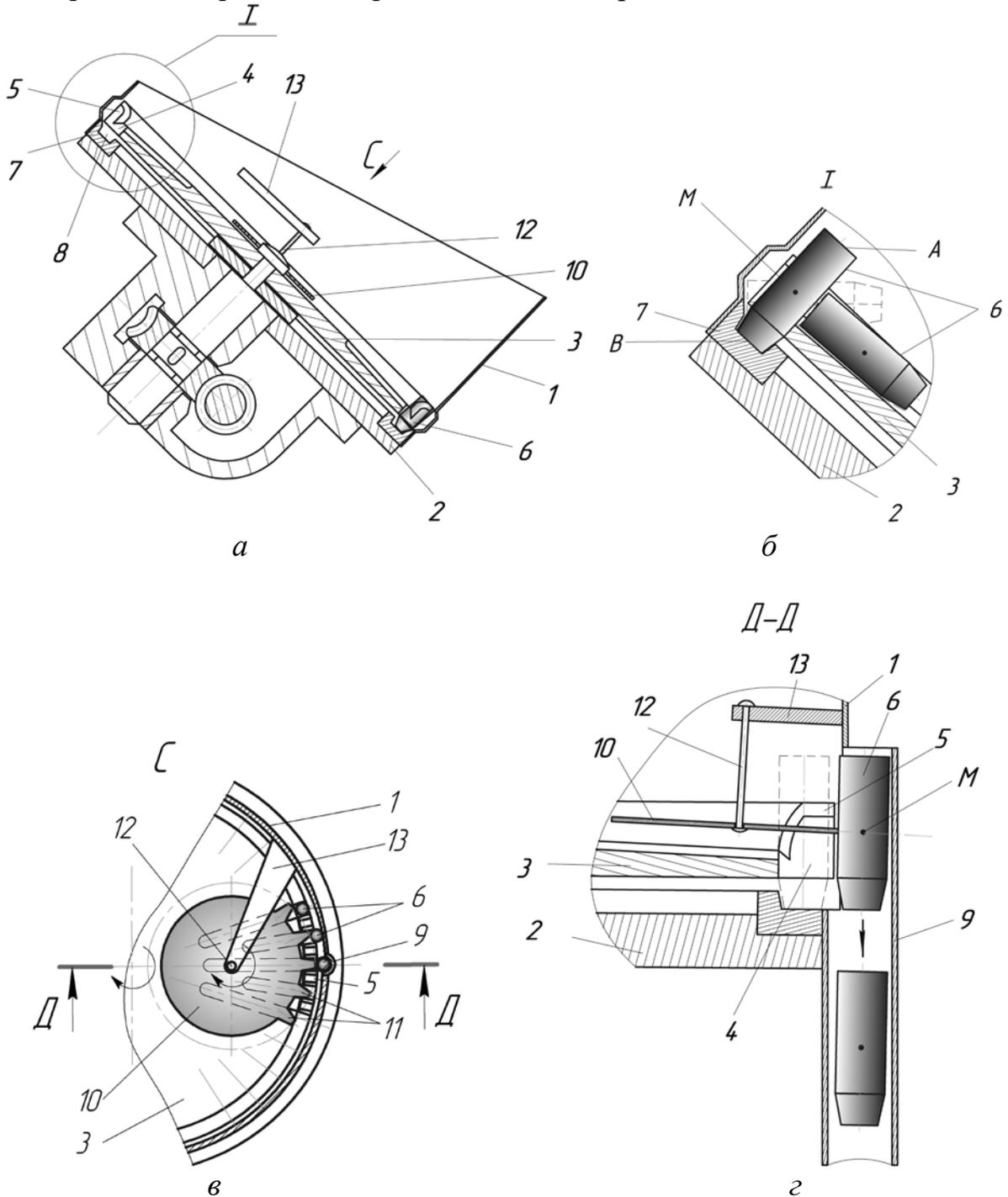


Рис. 1.2. Дискосое зубчатое бункерное загрузочное устройство с выдающей зубчатой звездочкой:

*а* – общий вид в разрезе; *б* – положение деталей в верхней части бункера;

*в* – вид *С* на зубчатую звездочку; *з* – разрез *Д-Д* по оси приемника в зоне выдачи детали

В зоне выдачи деталей в приемник (см. рис. 1.2, *в*, *з*) зубчатая звездочка,

взаимодействуя своими зубьями с зубьями вращающегося диска, приводится во вращение. Зубья зубчатой звездочки, входя между сквозными гнездами, выталкивают детали из сквозных гнезд вращающегося диска в приемник 9. Под действием сил тяжести детали по траектории, не лежащей в плоскости оси сквозных гнезд, свободно, без задержек, перемещаются по приемнику. Расположение зубчатой звездочки в плоскости, проходящей параллельно плоскости вращающегося диска со сквозными гнездами через центр масс  $M$  деталей, обеспечивает надежную их выдачу из сквозных гнезд в приемник без нарушения ориентации.

Для исключения поломки зубчатой звездочки при заклинивании в сквозных гнездах некондиционных деталей кронштейн 13 (см. рис. 1.2, в) выполнили с возможностью поворота на неподвижной оси, закрепленной на обечайке 1, и установили предохранительную пружину растяжения, между кронштейном и обечайкой бункера [6]. В случае заклинивания некондиционной детали (например, имеющей заусенцы на цилиндрическом торце) в одном из сквозных гнезд, при подходе его к зоне выдачи, соответствующий зуб зубчатой звездочки упирается в деталь, а кронштейн 13, на котором установлена зубчатая звездочка, поворачивается вокруг неподвижной оси, преодолевая силу пружины, и зубья зубчатой звездочки выходят из зацепления с зубьями гнезд.

Разработанные конструкции механических дисковых зубчатых бункерных загрузочных устройств с кольцевым ориентатором эффективны для загрузки сплошных или пустотелых деталей с отношением общей длины к диаметру цилиндрической части от 2 до 3.

### **3. Порядок выполнения задания**

3.1. Изучить конструкцию и принцип действия механического дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства с гнездами и кольцевым ориентатором.

3.2. Проанализировать возможность применения, рассматриваемого механического дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства, для загрузки пластиковой тары, укупорочных элементов и других видов штучной продукции пищевых производств (привести примеры).

3.3. Предложить возможные пути совершенствования конструкции дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства.

3.4. Подготовить отчет.

### **4. Рекомендуемая литература**

1. Автоматическая загрузка технологических машин: Справочник / И.С. Бляхеров [и др.]; Под общ.ред. И.А. Клусова. М.: Машиностроение, 1990. 400 с.

2. Пантюхина Е.В., Прейс В.В., Хачатурян А.В. Механические дисковые бункерные загрузочные устройства для стержневых деталей с неявно выраженными ключами ориентации // Автоматизация и измерения в машино- приборостроении. 2018. № 3 (3). С. 16-25.

3. Прейс В.В., Хачатурян А.В. Совершенствование механического зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевым ориентатором для деталей асимметричных по торцам // Сборник трудов VI международного научно-

технического семинара «Современные технологии сборки», 17-18 октября 2019 года в г. Москве. М.: Московский Политех. 2019. С. 54-62.

4. Патент на полезную модель 159403 РФ. Бункерное загрузочное устройство / Е.В. Давыдова, В.В. Прейс, А.В. Хачатурян. Оpubл. 10.02.2016. Бюл. № 4.

5. Патент на полезную модель 183611 РФ. Бункерное загрузочное устройство для деталей с неявно выраженной асимметрией торцов / Прейс В.В., Токарев В.Ю., Хачатурян А.В. Оpubл. 27.09.2018. Бюл. № 27.

6. Патент на полезную модель 192153 РФ. Бункерное загрузочное устройство для деталей с неявно выраженной асимметрией торцов / Прейс В.В., Токарев В.Ю. Оpubл. 05.09.2019. Бюл. № 25.

#### ***Тема № 4. Математическая модель производительности вертикального бункерного загрузочного устройства с роликами***

##### **1. Цель занятия.**

Изучение математической модели фактической производительности механического вертикального бункерного загрузочного устройства с роликами.

##### **2. Теоретическая часть.**

Фактическая производительность механических дисковых бункерных загрузочных устройств любого типа описывается следующим выражением [1]

$$P_{\text{БЗУ}} = 60 \frac{v}{t} \eta_{\text{max}} \left[ 1 - \left( \frac{v}{v_{\text{пред.}}} \right)^4 \right], \quad (1)$$

где  $v$  – окружная скорость диска по оси захватывающих органов (гнезд);  $t = \frac{2\pi R}{k}$  – шаг захватывающих органов;  $R$  – радиус диска по оси гнезд;  $k$  – число гнезд;  $\eta_{\text{max}}$  – максимальное значение вероятности захвата деталей при  $v \rightarrow 0$ ;  $v_{\text{пред.}}$  – окружная скорость диска, при которой невозможен захват деталей гнездами и производительность стремится к нулю.

Вероятность захвата детали  $\eta_{\text{max}}$  определяется произведением двух вероятностей:  $p_1$  – нахождения детали на вращающемся диске перед захватом в требуемом для захвата положении и  $p_2$  – отсутствия помех со стороны других деталей

$$\eta_{\text{max}} = p_1 p_2. \quad (2)$$

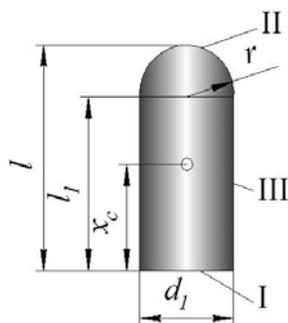


Рис. 3. Эскиз осесимметричной детали-тела вращения со сферическим торцом и её расчетные геометрические параметры

Деталь перед захватом должна находиться в положении благоприятном для захвата. При этом каждая деталь может принять столько положений, сколько поверхностей ее ограничивают. Например, деталь со сферическим торцом (рис. 3) имеет три поверхности и каждой из них может расположиться перед захватом на поверхности диска бункерного загрузочного устройства – основания I и II с разными диаметрами и цилиндрическая поверхность III.

Вероятности того, что детали окажутся на поверхности вращающегося диска одной из своих поверхностей, определяются по выражениям:

$$p_I = \frac{1}{2} - \frac{l - x_c}{\sqrt{4(l - x_c)^2 + d_1^2}}; \quad p_{II} = \frac{1}{2} - \frac{x_c}{\sqrt{4x_c^2 + d_1^2}}. \quad (3)$$

Вероятность нахождения детали на цилиндрической поверхности III определяется по формуле

$$p_{III} = 1 - (p_I + p_{II}). \quad (4)$$

Вероятность  $p_1$  нахождения детали на вращающемся диске перед захватом в требуемом положении определится по выражению

$$p_1 = 1 - \left(1 - p_{III} p_{12_{\max}}\right)^3 \left(1 - p_{III} p_{12_{\min}}\right)^{\frac{\pi(R-d_1)+2R}{2l}-3}, \quad (5)$$

где  $p_{12}$  – вероятность осуществления поворота, представленная в практических расчётах минимальным  $p_{12_{\min}}$  и максимальным  $p_{12_{\max}}$  значениями.

Минимальное значение вероятности  $p_{12_{\max}}$  определяется выражением

$$p_{12_{\min}} = \frac{1}{\pi} \left( \arcsin \frac{d + \Delta}{\sqrt{l_1^2 + d_1^2}} - \operatorname{arctg} \frac{d_1}{l_1} \right), \quad (6)$$

где  $\Delta$  – зазор по шагу между цилиндрической поверхностью детали и боковой поверхностью гнезда (зуба).

Максимальное значение вероятности  $p_{12_{\max}}$

$$p_{12_{\max}} = \frac{1}{\pi} \left( \operatorname{arctg} \frac{d_2}{2(l - x_c - 0,5d_1)} - \arcsin \frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha} \right), \quad (7)$$

где  $\alpha$  – угол наклона к горизонтали поверхности вращающегося диска, на которой расположены детали;  $\mu$  – коэффициент трения деталей о поверхность вращающегося диска.

Вероятность того, что процессу захвата пустотелых деталей со сферическим торцом не мешает их взаимная сцепляемость, определим по известному выражению [2]

$$p_c = 1 - \frac{\operatorname{arctg} \mu_0}{\pi A l} \left\{ 3,4 + 8,4 \left( \frac{l}{d} - \frac{l_1}{d} \right) + 3,8 \left( \frac{l_1}{d} \right)^2 + 2 \frac{|\operatorname{arctg} A l|}{\pi} \left[ 1 + 2 \left( \frac{l_1}{d} \right)^2 \right] \right\}, \quad (8)$$

$$\text{где } A1 = 6 \left[ 1 + 2 \frac{l}{d} - 2 \frac{l_1}{d} \left( 1 - \frac{l_1}{d} \right) \right]; \quad A2 = \frac{\frac{d}{2r} + \mu_0 \sqrt{1 - \left( \frac{d}{2r} \right)^2}}{\sqrt{1 - \left( \frac{d}{2r} \right)^2} - \frac{d}{2r} \mu_0}; \quad r = \frac{(l - l_1)^2 + 0,25d_1^2}{2(l - l_1)} \quad \text{— радиус}$$

сферического торца детали (см. рис. 3);  $\mu_0$  — коэффициент трения деталей между собой.

Значение окружной скорости диска с захватывающими органами, при которой невозможен захват деталей, определяется по выражению [3]

$$v_{\text{пред.}} = \left[ \frac{2\pi(R - 0,5d_1)}{k} - 0,5 \frac{(h_3^2 + d_1^2) + h_3 \sqrt{h_3^2 + d_1^2}}{h_3 + \sqrt{h_3^2 + d_1^2}} \right] \sqrt{\frac{g \sin \alpha}{d_1}}, \quad (9)$$

где  $h_3 = \frac{2\pi R}{k} - d - \Delta$  — толщина зуба.

Совокупность выражений (1) – (9) представляет собой математическую модель, которая может быть использована для расчета фактической производительности механического дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства на стадии проектирования.

### 3. Содержание и порядок выполнения задания

3.1. Изучить теоретические основы и методику построения математической модели фактической производительности механического дискового бункерного загрузочного устройства с гнездами и кольцевым ориентатором, используя рекомендуемую литературу.

3.2. Провести тестирование математических выражений по заданным исходным данным, используя программный пакет *MatCad*.

3.3. Оформить отчет.

### 4. Рекомендуемая литература

1. Pantyukhina E.V., Preis V.V., Khachaturian A.V. Feed rate evaluation of mechanical toothed hopper-feeding device with ring orientator for parts, asymmetric at the ends // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1260. 2019. P. 032032. DOI:10.1088/1742-6596/1260/3/032032.

2. Автоматическая загрузка технологических машин: Справочник / И.С. Бляхеров [и др.]; Под общ.ред. И.А. Клусова. М.: Машиностроение, 1990. 400 с.

3. Хачатурян А.В., Пантюхина Е.В., Прейс В.В. Математическая модель фактической производительности зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевым ориентатором для пустотелых деталей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. № 7. С. 98-110.

4. Хачатурян А.В. Теоретические основы параметрического синтеза механического зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевым ориентатором // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 12. 2019. С. 240-249.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТОВ

2.1. Текст отчетов по практическим занятиям печатается на листах бумаги формата А4. Текст отчетов должен быть набран в текстовом редакторе MS Word. Тип шрифта – Times New Roman, размер шрифта 14 пт, междустрочный интервал полуторный.

Параметры страницы: верхнее и нижнее поля – 2 см; левое поле – 2,5 см; правое поле – 1,5 см; расстояние от края верхнего и нижнего колонтитулов – не менее 1 см. Номер страницы ставится вверху страницы в центре.

Основной текст набирают с отступом слева первой строки 1,25 см и выравниванием текста «по ширине страницы». Автоматическая расстановка переносов слов: ширина зоны переноса слов – 0,63 см, максимальное число последовательных переносов – 3.

2.2. Графические иллюстрации выполнять на компьютере в любом доступном графическом редакторе или программе обработки изображений. Основное требование – компьютерная «читаемость» изображения и соответствие иллюстрации описанию, приведенному в тексте.