

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЕРОЯТНОСТИ ЗАХВАТА АСИММЕТРИЧНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ ЗАГОТОВОК В БУНКЕРНЫХ ЗАГРУЗОЧНО-ОРИЕНТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ С ТАНГЕНЦИАЛЬНЫМИ КАРМАНАМИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ОРИЕНТИРОВАНИЯ© 2025 Е.В. Пантюхина¹, С.А. Васин¹, А.Л. Бахно², А.А. Маликов¹¹ Тульский государственный университет² ПАО «Императорский Тульский оружейный завод»

Статья поступила в редакцию 15.08.2025

В статье приводится описание способов ориентирования в механических дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройствах с тангенциальными карманами. Рассматриваются основные этапы математического описания вероятности захвата асимметричных стержневых заготовок в устройствах указанного типа в зависимости от параметров заготовок и бункерного загрузочно-ориентирующего устройства. Представлены математические зависимости для описания вероятности, характеризующей благоприятное положение стержневых ступенчатых заготовок для их захвата, при активном и пассивном способах ориентирования. Проведен сравнительный анализ вероятностей захвата ступенчатых цилиндрических заготовок и заготовок с фланцем в бункером загрузочно-ориентирующем устройстве с тангенциальными карманами при различных способах ориентирования в процессе которого оценена степень влияния способа ориентирования ступенчатых заготовок двух типов на вероятность захвата и, тем самым производительность устройства. *Ключевые слова:* бункерное загрузочно-ориентирующее устройство с тангенциальными карманами, активное ориентирование, пассивное ориентирование, вероятность захвата, стержневые ступенчатые заготовки.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-4-157-163

EDN: GRSFCH

ВВЕДЕНИЕ

Ориентирование штучных асимметричных заготовок тел вращения для их подачи в автоматизированное оборудование роторных линий довольно часто осуществляется в механических бункерных загрузочно-ориентирующих устройствах (БЗУ). Принцип работы устройств данного типа основан на том, что засыпанные в бункер заготовки сначала поштучно захватываются расположенными, как правило, по периферии захватывающими органами, затем захваченные заготовки приводятся в требуемое положение посредством самих захватывающих органов или с помощью специальных механизмов (могут располагаться как внутри, так и снаружи БЗУ), после чего сориентированные асимметричные заготовки выдаются из БЗУ и направляются к рабочим органам роторных линий [1-2].

Во многих БЗУ захватывающие органы (карманы) располагаются тангенциально на поверхности вращающегося диска по периферии. В таких устройствах захват заготовок осуществляется при нахождении заготовки в кармане их боковой поверхностью (рис. 1). На рис. 1, а представлена схема пассивного ориентирования асимметричных заготовок, при котором неправильно захваченные заготовки (запали в карман не соответствующей их профилю боковой поверхностью) выпадают из карманов под действием центра масс, а на рис 2, б – схема активного ориентирования заготовок, при котором все захваченные карманом заготовки под действием центра масс приводятся в требуемое ориентированное положение [3].

Эффективность работы БЗУ оценивается тремя основными показателями: стабильностью работы (из БЗУ выдаются только правильно сориентированные заготовки); универсальностью (в БЗУ имеется возможность ориентирования заготовок различных размеров и форм путем регулировки захватывающих и ориентирующих органов) и высокой производительностью (в БЗУ создаются условия, при которых будет обеспечен с наибольшей вероятностью захват заготовок в требуемом ориентированном положении, все захваченные заготовки будут сориентированы в БЗУ и выданы из него) [4-6].

Пантюхина Елена Викторовна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Промышленная автоматика и робототехника». E-mail: e.v.pant@mail.ru

Васин Сергей Александрович, доктор технических наук, профессор, профессор-консультант кафедры «Технология машиностроения». E-mail: vasin_sa53@mail.ru

Бахно Александр Львович, кандидат технических наук, первый заместитель генерального директора. E-mail: Bahno.al@tulatoz.ru

Маликов Андрей Андреевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения». E-mail: tppizi@yandex.ru

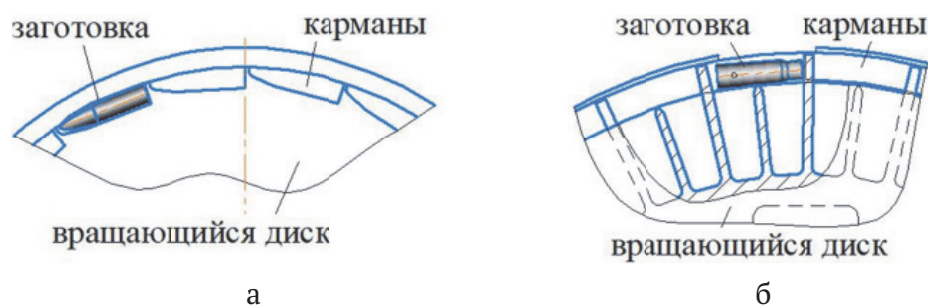


Рис. 1. Схемы механических дисковых БЗУ с тангенциальным захватом асимметричных заготовок: а – с пассивным ориентированием; б – с активным ориентированием

Рассмотрим параметры БЗУ и асимметричных заготовок, которые влияют на вероятность их захвата захватывающими органами и, тем самым на производительность БЗУ.

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ЗАХВАТА АСИММЕТРИЧНЫХ ЗАГОТОВОК

Порядок математического описания вероятности захвата η асимметричных заготовок в зависимости от их параметров и параметров БЗУ представлен на рис. 2 [7]. Сплошными линиями являются обязательные при построении модели траектории, а пунктирными – возможные варианты описания компонентов математической модели, определяемые конструкцией БЗУ и реализуемыми в нем способами захвата и ориентирования заготовок.

Вероятность захвата представляет собой произведение вероятностей

$$\eta = \eta_{\max} \left(1 - \frac{v^4}{v_{\text{пред}}^4} \right) = p_i p_c \left(1 - \frac{v^4}{v_{\text{пред}}^4} \right), \quad (1)$$

где p_i , p_c – вероятности, характеризующие соответственно благоприятное положение заготовки для ее захвата и отсутствие помех от сцепляемости заготовок; $v_{\text{пред}}$ – предельное значение окружной скорости v , при которой заготовка в карман не успеет запасть [8-10].

Вероятность p_i описывает влияние на вероятность захвата заготовок наибольшего d_1 и наименьшего d_2 диаметров каждого из торцов, общей длины l , длин l_1 и l_2 его торцов, координаты центра масс x_c , угла наклона бункера α , коэффициента трения μ между заготовками и конструктивными элементами БЗУ, размер B (ширина) карманов, радиус R вращающегося диска. Для корректного описания вероятности p_i необходимо учесть количество положений, которые может занимать заготовка на поверхности вращающегося диска, из каких из них заготовка может быть приведена в требуемое ориентированное положение, возможности поворота заготовки к карману требуемой для захвата стороной.

Вероятность p_c описывает влияние на вероятность захвата заготовок всех их геометрических параметров заготовок и коэффициента трения μ_0 между заготовками при их взаимосцепляемости.

Предельная окружная скорость $v_{\text{пред}}$ карманов описывает влияние на вероятность захвата заготовок размеров захватывающих органов и вращающегося диска, значений угла наклона бункера и геометрических параметров заготовок (см. рис. 2).

Таким образом, для повышения производительности БЗУ необходимо обеспечить наибольшую вероятность захвата асимметричных заготовок путем выявления благоприятных положений для их захвата и выбора оптимальных параметров БЗУ.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ЗАХВАТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБА ОРИЕНТИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ СТУПЕНЧАТЫХ ЗАГОТОВОК

В статье [11] представлены результаты теоретического исследования вероятности захвата стержневых ступенчатых цилиндрических заготовок в БЗУ с наклонным диском и тангенциальными карманами, в котором реализовано активное ориентирование заготовок, а также степень влияния на вероятность захвата различных параметров устройства и заготовок, при которых будут обеспечены ее максимальные значения. В статье подробно анализируются влияние всех коэффициентов на вероятности p_i , p_c и предельную окружную скорость $v_{\text{пред}}$, что представлено наглядно в виде графической визуализации.

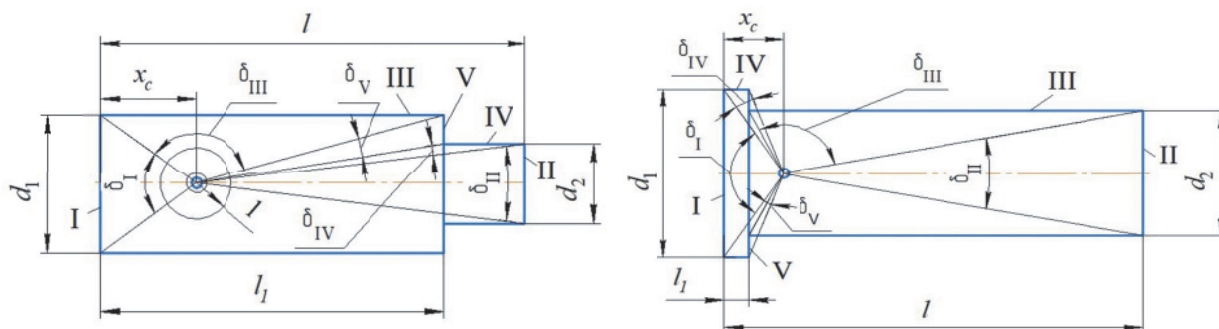


Рис. 4. Расчетные схемы для определения вероятностей

$$p_I = 0,5[1 - \cos(0,5\delta_I)], \quad p_{II} = 0,5[1 - \cos(0,5\delta_{II})], \quad p_V = 1 - \cos[0,5(\delta_V)],$$

где

$$\delta_I = 2\arccos \frac{x_c}{\sqrt{x_c^2 + 0,25d_1^4}}, \quad \delta_{II} = 2\arccos \frac{l - x_c}{\sqrt{(l - x_c)^2 + 0,25d_2^4}}; \quad (2)$$

- для цилиндрических заготовок (см. рис. 4, а):

$$\delta_V = 2\arccos \frac{l_1 - x_c}{\sqrt{(l_1 - x_c)^2 + 0,25d_1^4}} - 2\arccos \frac{l_1 - x_c}{\sqrt{(l_1 - x_c)^2 + 0,25d_2^4}}; \quad (3)$$

- для заготовок с фланцем (см. рис. 4, б):

$$\delta_V = 2\arccos \frac{x_c - l_1}{\sqrt{(x_c - l_1)^2 + 0,25d_1^4}} - 2\arccos \frac{x_c - l_1}{\sqrt{(x_c - l_1)^2 + 0,25d_2^4}}, \quad (4)$$

После этого необходимо определить максимальные $p_{i\max}$ и минимальные $p_{i\min}$ значения вероятности p_i , соответствующие участкам зоны захвата, где заготовки располагаются разрозненно в один и несколько слоев [12].

При активном ориентировании для захвата заготовка должна развернуться к карману поверхностями III и IV (поворот на угол $\delta_{III} + \delta_{IV}$), что также возможно при нахождении заготовки на боковой поверхности путем поворота каждого из ее торцов (или поверхностей) к углу $\delta_{III} + \delta_{IV}$. Это можно записать в виде выражения:

$$p_{i\max} = \frac{p_{\delta} + p_{II} + p_I + p_V}{\pi} (\delta_{III} + \delta_{IV} - 2\arcsin \frac{\mu}{\alpha_d}), \quad (5)$$

где μ – коэффициент трения между заготовками и поверхностями вращающегося диска, по которому движутся заготовки; α_d – угол наклона диска, рад; $\delta_{III} + \delta_{IV} = \pi - 0,5\delta_I - 0,5\delta_{II} - \delta_V$ – суммарный боковой угол заготовок для требуемого захвата, рад.

При пассивном ориентировании заготовок формула (5) с учетом того, что захват заготовок для требуемой ориентации должен осуществляться боковой поверхностью только в одном ее положении, получим:

$$p_{i\max} = \frac{p_{\delta} + p_{II} + p_I + p_V}{2\pi} (\delta_{III} + \delta_{IV} - 2\arcsin \frac{\mu}{\alpha_d}), \quad (6)$$

Минимальное значение вероятности $p_{i\min}$ определим по выражению:

$$p_{i\min} = \frac{p_{\delta}}{2\pi} \varphi = \frac{p_{\delta}}{2\pi} [\gamma - \beta], \quad (7)$$

в котором углы γ, β определяются по формулам:

- для цилиндрических заготовок (см. рис. 4, а)

$$\gamma = \arcsin \frac{B}{\sqrt{d_1^2 + l_1^2}}, \quad \beta = \arccos \frac{l_1}{\sqrt{l_1^2 + d_1^2}}; \quad (8)$$

- для заготовок с фланцем (см. рис. 4, б):

$$\gamma = \arcsin \frac{B}{\sqrt{0,25(d_1 + d_2)^2 + l^2}}, \beta = \arccos \frac{l}{\sqrt{0,25(d_1 + d_2)^2 + l^2}}; \quad (9)$$

где $B = d + \Delta$ – ширина тангенциально расположенного кармана, м; Δ – зазор между заготовкой и его стенкой, м (рис. 5).

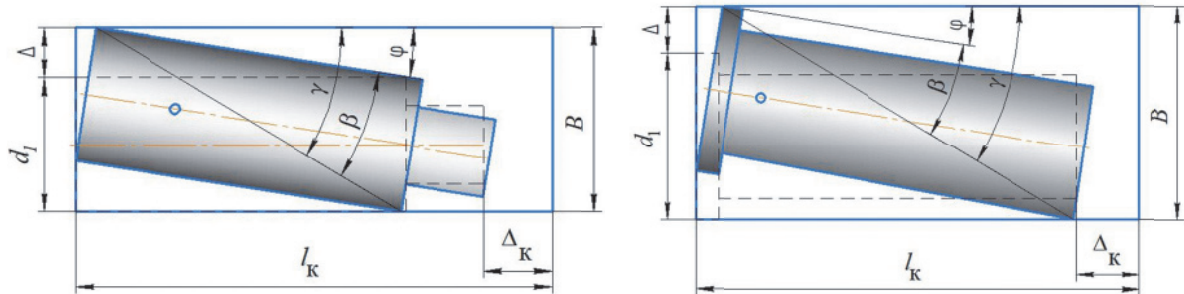


Рис. 5. Расчетные схемы для определения вероятности $p_{i \min}$

Вероятность p_i определяется по формуле:

$$p_i = 1 - (1 - p_{i \max})^3 (1 - p_{i \min})^k, \quad (10)$$

где k – число заготовок, которое может разместиться в зоне расположения карманов, определяемой линейными уравнениями граничных условий процесса захвата [13].

Тогда вероятность p_i для цилиндрических заготовок будет определяться выражениями (2), (3), (5), (7), (8) и (10), а для заготовок с фланцем – (2), (4), (6), (7), (9) и (10).

Сравним вероятности захвата двух рассмотренных видов ступенчатых асимметричных заготовок БЗУ с тангенциальными карманами при различных способах ориентирования. Результаты сравнения представим в виде графиков вероятности p_i в зависимости от параметра $a = l/d_1$ в диапазоне от 3 до 6 и для заготовок с диаметром меньшего основания $d_2 = 0,5d_1$ при $d_1 = 0,015$; коэффициент трения $\mu = 0,3$ (рис. 6).

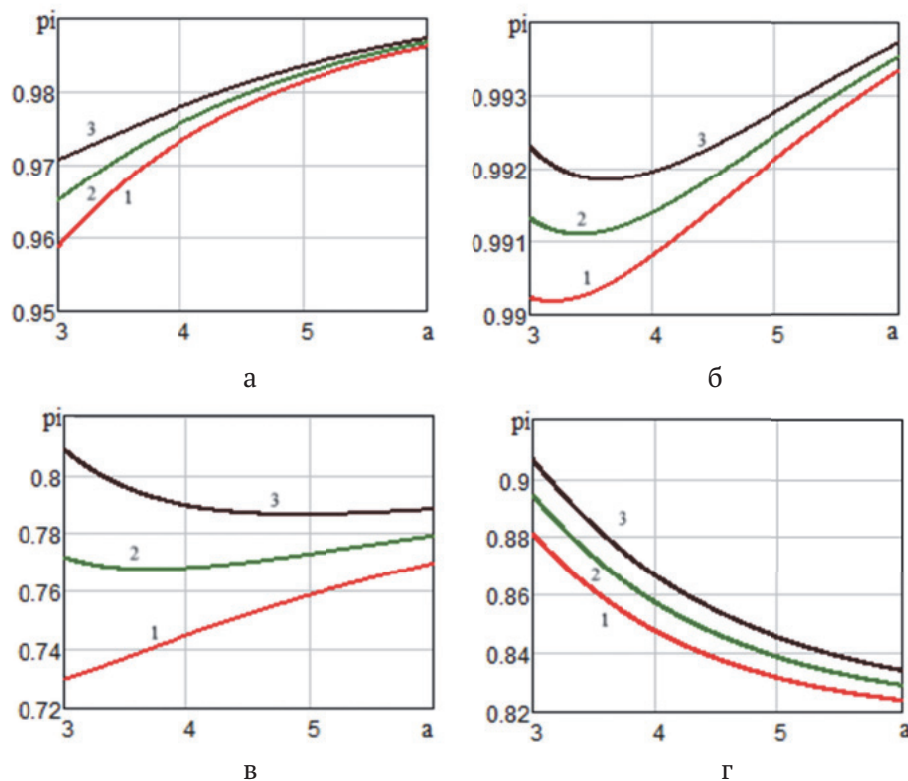


Рис. 6. Закономерности изменения вероятности p_i для стержневых ступенчатых заготовок цилиндрической (а, в) и с фланцем (б, г) при зазорах $\Delta = 0, 1d_1$ (1), $\Delta = 0, 2d_1$ (2) и $\Delta = 0, 3d_1$ (3) при активном (а, б) и пассивном (в, г) способах ориентирования

Как показываю графики, вероятность p_i в зависимости от типа асимметричной заготовки, например при $a = 3$, уменьшается при пассивном ориентировании по сравнению с активным на 11,2...16,5% для цилиндрической заготовки и на 8,3...11,1% для заготовки с фланцем. Это приведет к снижению вероятности захвата и производительности БЗУ. Например, для цилиндрической заготовки максимальная вероятность захвата при начальных окружных скоростях вращающегося диска падает с 0,95 до 0,7, а значение максимальной производительности БЗУ снижается с 220 шт./мин при активном ориентировании до 160 шт./мин при пассивном ориентировании, тем самым снижаясь на 27,3%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка математических моделей вероятности захвата асимметричных стержневых заготовок позволяет оценить влияние многих факторов на производительность механических дисковых БЗУ с целью ее повышения и определения оптимальных и стабильных режимов работы БЗУ. Как показали приведенные в работе исследования, способ ориентирования асимметричных стержневых заготовок оказывает существенную роль на вероятность их захвата и производительность, что подтверждается результатами графической визуализации, полученными с помощью разработанных программ расчета и моделирования. В связи с вышеизложенным для повышения производительности БЗУ необходимо стремиться к тому, чтобы в конструкции было реализовано активное ориентирование заготовок, которое в последнее время применяется не только для заготовок с явной асимметрией, но и для заготовок, у которых ориентационные признаки выражены неявно (незначительное смещение центра масс относительно середины заготовки, неявное отличие между диаметрами торцов и т.д.). При этом применение в конструкции БЗУ активных способов ориентирования не должно снижать надежность их функционирования, заключающуюся в том, что в приемник из БЗУ выдаются только правильно ориентированные заготовки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пантюхина, Е.В.* Повышение надежности и производительности дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройств для асимметричных деталей тел вращения / Е.В. Пантюхина, С.А. Васин, С.Н. Шевченко, С.А. Лукин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Т. 26. – № 2. – 2024. – С. 110–116.
2. *Кошкин, Л.Н.* Роторные и роторно-конвейерные линии: 3-е изд. перераб. и доп. / Л.Н. Кошкин. – М.: Машиностроение, 1991. – 400 с.
3. *Усенко, Н.А.* Системы автоматической загрузки штучных предметов обработки в технологические машины-автоматы / Н.А. Усенко, В.В. Прейс, Е.В. Давыдова, Е.С. Бочарова. Под ред. проф. В.В. Прейса. – Тула: Изд-во ТулГУ. – 2013. – 310 с.
4. *Прейс, В.В.* Прогнозирование надежности автоматической сборочной линии с учетом потерь комплектующих элементов при сборке многоэлементных изделий / В.В. Прейс // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2024. – № 4. – С. 153–156.
5. *Пантюхина, Е.В.* Факторы, влияющие на производительность механических дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройств / Е.В. Пантюхина, С.А. Васин, С.Н. Шевченко, А.А. Борисов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Самара: Самарский федеральный исследовательский центр РАН, 2024. – Вып. 3. – С. 99–104.
6. *Борисов, А.А.* Универсальные конструкции механических дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройств для асимметричных по торцам заготовок тел вращения / А.А. Борисов, Е.В. Пантюхина, С.А. Васин, А.С. Клентак // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2024. – Т. 26. – № 6 (122). – С. 109–117.
7. *Васин, С.А.* Методика определения вероятности захвата асимметричных деталей формы тел вращения в дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройствах / С.А. Васин, Е.В. Пантюхина // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. – 2023. – № 3. – С. 64–88.
8. *Pantuykhina E.V.* Integrated approach methodology for evaluating the feed rate of mechanical disk hopper-feeding devices // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1546 (2020) 012024. DOI: 10.1088/1742-6596/1546/1/012024.
9. *Пантюхина, Е.В.* Сравнительный анализ производительности механических дисковых бункерных загрузочных устройств при активном и пассивном способе ориентирования асимметричных деталей / Е.В. Пантюхина, И.В. Пузиков // В сборнике: Механика, оборудование, материалы и технологии. Электронный сборник научных статей по материалам шестой международной научно-практической конференции. – Краснодар, 2024. – С. 157–165.
10. *Лукин, С.А.* Математическая модель вероятности захвата стержневых заготовок в форме колпачка в бункерном загрузочном устройстве с зубьями и регулируемым ориентатором / С.А. Лукин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 8. – С. 3–10.
11. *Борисов, А.А.* Теоретическое исследование вероятности захвата стержневых ступенчатых заготовок в бункерном загрузочно-ориентирующем устройстве с наклонным диском и тангенциальными карманами / А.А. Борисов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 2. – С. 530–539.
12. *Пантюхина, Е.В.* Математическое описание вероятности захвата стержневых ступенчатых заготовок в бункерных загрузочно-ориентирующих устройствах с наклонным диском и тангенциальными карманами / Е.В. Пантюхина, А.А. Борисов, С.А. Васин, А.С. Клентак // iPolytech Journal. – 2024. – Т. 28. – № 4. – С. 466–476.
13. *Пантюхина, Е.В.* Проектирование механических дисковых бункерных загрузочных устройств для предметов обработки формы тел вращения с неявной асимметрией / Е.В. Пантюхина. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2024. – 228 с.

COMPARATIVE ANALYSIS OF PROBABILITY OF GRIPPING ASYMMETRIC ROD BLANKS IN HOPPER FEEDING-ORIENTING DEVICES WITH TANGENTIAL POCKETS AT DIFFERENT ORIENTING METHODS

© 2025 E.V. Pantyukhina¹, S.A. Vasin¹, A.L. Bakhno², A.A. Malikov¹

¹ Tula State University

² PJSC "Imperial Tula Arms Plant"

The article describes methods of orientation in mechanical disk hopper feeding-orienting devices with tangential pockets. Main stages of mathematical description of probability of gripping asymmetric rod blanks in devices of specified type depending on parameters of blanks and hopper feeding-orienting device are considered. Mathematical relationships are presented to describe the probability characterizing the favorable position of rod stepped workpieces for their gripping, with active and passive methods of orientation. A comparative analysis of the probability of gripping stepped cylindrical workpieces and workpieces with a flange in a hopper feeding-orienting device with tangential pockets was carried out with various methods of orientation, during which the degree of influence of the method of orienting stepped workpieces of two types on the probability of gripping and, thereby, the feed rate of the device was estimated.

Keywords: hopper feeding-orienting device with tangential pockets, active orienting, passive orienting, probability of gripping, rod stepped blanks.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-4-157-163

EDN: GRSFCH

REFERENCES

1. *Pantyuhina, E.V. Povyshenie nadezhnosti i proizvoditel'nosti diskovykh bunkernykh zagruzochno-orientiruyushchih ustroystv dlya asimmetrichnykh detalej tel vrashcheniya* / E.V. Pantyuhina, S.A. Vasin, S.N. Shevchenko, S.A. Lukin // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*. – T. 26. – № 2. – 2024. – S. 110–116.
2. *Koshkin, L.N. Rotorny i rotorno-konveyernye linii: 3-e izd. pe-rerab. i dop.* / L.N. Koshkin. – M.: Mashinostroenie, 1991. – 400 p.
3. *Usenko, N.A. Sistemy avtomaticheskoy zagruzki shtuchnykh predmetov obrabotki v tekhnologicheskie mashiny-avtomaty* / N.A. Usenko, V.V. Prejs, E.V. Davydova, E.S. Bocharova. Pod red. prof. V.V. Prejsa. – Tula: Izd-vo TulGU. – 2013. – 310 p.
4. *Prejs, V.V. Prognozirovaniye nadezhnosti avtomaticheskoy sborochnoj linii s uchetom poter' komplektuyushchih elementov pri sborke mnogoelementnykh izdelij* / V.V. Prejs // *Sborka v mashinostroyenii, priborostroyenii*. – 2024. – № 4. – pp. 153–156.
5. *Pantyuhina, E.V. Faktory, vliyayushchie na proizvoditel'nost' mekhanicheskikh diskovykh bunkernykh zagruzochno-orientiruyushchih ustroystv* / E.V. Pantyuhina, S.A. Vasin, S.N. Shevchenko, A.A. Borisov // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*. – Samara: Samarskij federal'nyj issledovatel'skij centr RAN, 2024. – Vyp. 3. – pp. 99–104.
6. *Borisov, A.A. Universal'nye konstrukcii mekhanicheskikh diskovykh bunkernykh zagruzochno-orientiruyushchih ustroystv dlya asimmetrichnykh po torcam zagotovok tel vrashcheniya* / A.A. Borisov, E.V. Pantyuhina, S.A. Vasin, A.S. Klentak // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*. – 2024. – T. 26. – № 6 (122). – pp. 109–117.
7. *Vasin, S.A. Metodika opredeleniya veroyatnosti zahvata asimmetrichnykh detalej formy tel vrashcheniya v diskovykh bunkernykh zagruzochno-orientiruyushchih ustroystvakh* / S.A. Vasin, E.V. Pantyuhina // *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie*. – 2023. – № 3. – pp. 64–88.
8. *Pantyukhina E.V. Integrated approach methodology for evaluating the feed rate of mechanical disk hopper-feeding devices* // *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1546 (2020) 012024. DOI: 10.1088/1742-6596/1546/1/012024.
9. *Pantyuhina, E.V. Sravnitel'nyj analiz proizvoditel'nosti mekhanicheskikh diskovykh bunkernykh zagruzochnykh ustroystv pri aktivnom i passivnom sposobax orientirovaniya asimmetrichnykh detalej* / E.V. Pantyuhina, I.V. Puzikov // *V sbornike: Mexanika, oborudovanie, materialy i tekhnologii. Elektronnyj sbornik nauchnykh statej po materialam shestoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. – Krasnodar, 2024. – S. 157–165.
10. *Lukin, S.A. Matematicheskaya model' veroyatnosti zahvata sterzhnevnykh zagotovok v forme kolpachka v bunkernom zagruzochnom ustroystve s zub'yami i reguliruemym orientatorom* / S.A. Lukin // *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. – 2024. – № 8. – S. 3–10.
11. *Borisov, A.A. Teoreticheskoe issledovanie veroyatnosti zahvata sterzhnevnykh stupenchatykh zagotovok v bunkernom zagruzochno-orientiruyushchem ustroystve s naklonnym diskom i tangencial'nymi karmanami* / A.A. Borisov // *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. – 2025. – № 2. – pp. 530–539.
12. *Pantyuhina, E.V. Matematicheskoe opisanie veroyatnosti zahvata sterzhnevnykh stupenchatykh zagotovok v bunkernykh zagruzochno-orientiruyushchih ustroystvakh s naklonnym diskom i tangencial'nymi karmanami* / E.V. Pantyuhina, A.A. Borisov, C.A. Vasin, A.S. Klentak // *iPolytech Journal*. – 2024. – T. 28. – № 4. – S. 466–476.
13. *Pantyuhina, E.V. Proektirovaniye mekhanicheskikh diskovykh bunkernykh zagruzochnykh ustroystv dlya predmetov obrabotki formy tel vrashcheniya s neyavnoj asimmetriey* / E.V. Pantyuhina. – Tula: Izd-vo TulGU, 2024. – 228 p.

Elena Pantyukhina, Doctor of Technical, Associate Professor, Professor of the Department of Industrial Automation and Robotics. E-mail: e.v.pant@mail.ru

Sergey Vasin, Doctor of Technical, Professor, Professor-Consultant of the Department of Engineering Technology. E-mail: vasin_sa53@mail.ru

Alexander Bakhno, Candidate of Technical Sciences, First Deputy General Director. E-mail: Bahno.al@tulatoz.ru

Andrey Malikov, Doctor of Technical, Professor, Head of the Department of Engineering Technology. E-mail: tppizi@yandex.ru