УДК 621.9.06

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЕРОЯТНОСТИ ОТСУТСТВИЯ ПОМЕХ ОТ ВЗАИМОСЦЕПЛЯЕМОСТИ АСИММЕТРИЧНЫХ ЗАГОТОВОК В БУНКЕРНЫХ ЗАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ

© 2026 Е.В. Пантюхина[1], А.Е. Богодяж[1], А.Л. Бахно[2], С.А. Васин[1]

[1] Тульский государственный университет, г. Тула, Россия
[2] ПАО «Императорский Тульский оружейный завод», г. Тула, Россия

Статья поступила в редакцию 24.09.2026

В статье рассматривается вероятность отсутствия помех от взаимосцепляемости заготовок в процессе их захвата в механических дисковых бункерных загрузочных устройствах. Анализируются и сравниваются выражения для теоретического описания вероятности в зависимости от геометрических параметров и формы загружаемых заготовок типа тел вращения и коэффициентов трения между ними. Получены математические выражения для определения вероятности отсутствия помех от сцепляемости на примере заготовок с коническим переходом одного торца в другой, в том числе с наличием внутренних полостей по торцам для двух вариантов. В первом случае рассматривается вариант сцепления, при котором наружный диаметр одного из торцов больше, чем диаметр внутренней полости другого торца заготовки, то есть один торец заготовки не может проникать в другой. Также рассматривается вариант, когда один торец заготовки имеет наружный диаметр, размер которого меньше, чем диаметр внутренней полости противоположного торца заготовки, то есть один торец заготовки может проникать в другой. Приведены графики зависимости вероятности отсутствия помех от сцепляемости в зависимости от параметров заготовок.
Ключевые слова: бункерное загрузочное устройство, вероятность захвата, сцепляемость заготовок при захвате, коэффициент трения между заготовками.

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-5-86-91
EDN: PGUBXM

ВВЕДЕНИЕ

Производительность механических дисковых бункерных загрузочных устройств (БЗУ) определяется на ранних этапах проектирования совокупностью не только конструктивных и кинематических параметров устройства, но и свойствами загружаемых заготовок [1, 2]. К таким свойствам относятся геометрические параметры заготовок, их форма, расположение центра масс заготовки, материалы, из которых они изготовлены, качества образующих их поверхностей и наличия внутренних полостей по одному или каждому из торцов [3, 4]. Многие из этих свойств определяют важный параметр заготовок – их взаимосцепляемость друг с другом, то есть при захвате находящиеся в бункере заготовки при вращении диска БЗУ сцепляются друг с другом. Чем больше их сцепляемость, тем ниже вероятность захвата заготовок и производительность БЗУ [5, 6]. Для ее повышения на вращающемся диске устанавливаются дополнительные элементы для ворошения заготовок, или диск изготавливается с выступами (например, зубьями) между карманами, которые разъединяют сцепившиеся заготовки [7, 8].

В математических моделях вероятности захвата и производительности сцепляемость заготовок определяется вероятностью p_c, характеризующей отсутствие помех от этого фактора. Вероятность p_c вычисляется по нескольким известным выражениям [9, 10]. Для цилиндрических валиков длиной l и диаметром d ($a = l/d$) использовалось упрощенное выражение:

$$p_c = 1 - \frac{\arctan \mu_0}{\pi} \cdot \frac{0,9 + 1,4a}{1 + 2a}, \quad (1)$$

а для заготовок любой другой формы – выражение, в котором в качестве показателей сцепляемости приняты величины, которые характеризуют относительные линейные перемещения и повороты прилегающих друг к другу заготовок:

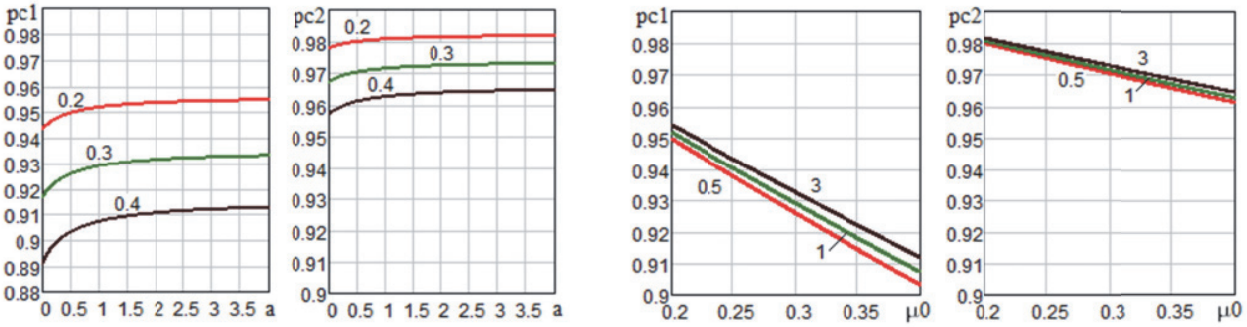
Пантюхина Елена Викторовна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Промышленная автоматика и робототехника». E-mail: e.v.pant@mail.ru
Богодяж Артем Евгеньевич, соискатель. E-mail: angry@narod.ru
Бахно Александр Львович, кандидат технических наук, первый заместитель генерального директора. E-mail: Bahno.al@tulatoz.ru
Васин Сергей Александрович, доктор технических наук, профессор, профессор-консультант кафедры «Технология машиностроения». E-mail: vasin_sa53@mail.ru

$$p_c = 1 - \frac{1}{\sqrt{2}\pi \cdot z \cdot F} \sum_{i=1}^{z^2} \left[\left\{ \sqrt{\xi_{xi}^2 + \xi_{yi}^2} \right\}_{\text{I-II}} \times (F_{\text{I}} + F_{\text{II}})_i + \ldots \right]_i , \qquad (2)$$

где z, F – число и суммарная площадь всех поверхностей заготовки; ξ_{xi}, ξ_{yi} – углы возможного поворота двух соприкасающихся поверхностей с площадями F_{I} и F_{II} без отрыва по плоскостям x и y [11, 12], определяемые по выражениям $\xi_{xi} = \arctan(\mu_{0x})$, $\xi_{yi} = \arctan(\mu_{0y})$ и зависящие от коэффициентов трения μ_x и μ_y для каждой пары поверхностей заготовок при движении по осям x и y соответственно при каждом случае соприкосновения.

В зависимости от формы сопрягающихся поверхностей корень суммы квадратов этих углов $\sqrt{\xi_{xi}^2 + \xi_{yi}^2}$ будет равен $\arctan \mu_0 \sqrt{2}$, если сопрягающиеся поверхности плоские; $\arctan \mu_0$, если одна из сопрягающихся поверхностей плоская, а другая имеет форму тел вращения (конус, сфера, цилиндр); 0, если обе сопрягающиеся поверхности имеют форму тел вращения.

На рис. 1 приведены графики сравнения вероятности p_c, вычисляемой по выражению (1) в зависимости от соотношения a при значениях коэффициента трения между цилиндрическими ступенчатыми заготовками $\mu_0 = 0,2; 0,3; 0,4$ (рис. 1, а, б) и по выражению (2) в зависимости от коэффициента трения между заготовками при $a = 0,5; 1; 3$ (при условии, что все их поверхности изготовлены из одного материала и имеют одинаковые свойства) (рис. 1, в, г).



а б в г

Рис. 1. Вероятности p_c, рассчитанные по выражениям (1) (а, б) и (2) (в, г), в зависимости от соотношения a при $\mu_0 = 0,2; 0,3; 0,4$ (а, б) и коэффициента трения μ_0 при $a = 0,5; 1; 3$ (в, г)

Анализ и сравнение полученных графиков для цилиндрической ступенчатой заготовки с соотношением диаметров торцов $b = 0,5$ показал, что значения вероятностей p_c отличаются на 3,4...6,9 % при минимальных соотношениях a и на 2,7...5,5 % при максимальных (см. рис. 1, а, б). Например, по упрощенной формуле (1) при $\mu_0 = 0,4$ минимальное значение вероятности составляет $p_c = 0,892$, а по формуле (2) – $p_c = 0,958$, что позволяет вычислить отклонение упрощенной формулы от формулы (2), которое составляет 6,9 %. При этом влияние соотношения a при варьировании коэффициентом трения μ_0 не существенно (см. рис. 1, в, г). Проверка вероятности p_c для цилиндрического валика ($b = 1$) показало аналогичное отличие. Поэтому для более точной оценки производительности БЗУ целесообразно пользоваться выражением с относительными линейными перемещениями и поворотами, позволяющим в полной мере оценить данную вероятность.

ВЕРОЯТНОСТЬ ОТСУТСТВИЯ ПОМЕХ ОТ СЦЕПЛЯЕМОСТИ ЗАГОТОВОК С КОНИЧЕСКИМ ПЕРЕХОДОМ ОДНОГО ТОРЦА В ДРУГОЙ

Все представленные формулы предназначены для заготовок, которые не взаимосцепляются друг с другом при вхождении одного торца в другой. Для заготовок, которые могут взаимосцепляться, оценка вероятности p_c включает дополнительно анализ взаимосцепляемости торцов заготовок при определении угла отрыва заготовок друг от друга, при котором начнется их разъединение. Тогда множитель $\sqrt{\xi_{xi}^2 + \xi_{yi}^2}$ в выражении (2) для поверхностей заготовок, которые могут входить друг в друга, должен описываться иначе или определяться экспериментально для каждого варианта сцепления.

Определим вероятность отсутствия помех от сцепляемости на примере заготовок с коническим переходом одного торца в другой, в том числе с наличием внутренних полостей по торцам для двух вариантов.

В первом случае рассмотрим вариант, при котором наружный диаметр одного из торцов больше, чем диаметр внутренней полости другого торца заготовки, то есть $d_1 > d_2^0$ и один торец заготовки не может проникать в другой. Во втором случае рассмотрим вариант, когда $d_1 < d_2^0$, то есть один торец заготовки может проникнуть в другой.

Вариант 1. В этом случае, когда заготовки **не сцепляются** торцами путем полного проникновения, так как $d_1 > d_2^0$, то рассмотрим два дополнительных варианта:

- вариант 1-1: заготовка не имеет внутренней полости ($d_2^0 = 0$), то есть в выражении (2) принимается $z = 5$ и учитываются площади $F_{\text{I}}, F_{\text{II}}, ..., F_{\text{V}}$,

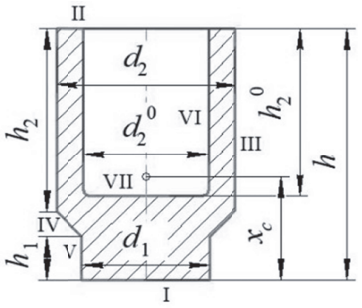


Рис. 2. Заготовка с коническим переходом одного торца в другой и внутренней полостью с обозначением размеров и образующих поверхностей

- вариант 1-2: заготовка имеет внутреннюю полость, но один торец проникает в другой только частично, соприкасаясь с внутренней полостью точечно (в месте перехода поверхности II в поверхность VI, с поверхностью VII соприкосновение не возможно, поверхности VI и VII в сцеплении не участвуют, присутствует только точечный контакт с поверхностью VI), тогда принимается $z = 5$ и учитываются при расчете F только площади $F_{\text{I}}, F_{\text{II}}, ..., F_{\text{V}}$, а вместо двух соприкасающихся поверхностей, одна из которых VI, только площадь другой из них.

Вариант 2. В этом случае, когда заготовка имеет с одной стороны внутреннюю полость, большую, чем диаметр противоположного торца, заготовки могут **сцепляться** торцами путем проникновения двумя вариантами:

- вариант 2-1: заготовка имеет внутреннюю полость, один торец может проникать в другой, соприкасаясь с внутренней цилиндрической полостью линейным контактом с поверхностями IV и VII (с поверхностью VII соприкосновение не возможно, поверхность VII в сцеплении не участвует), тогда $z = 6$ и при расчете F учитываются только площади $F_{\text{I}}, F_{\text{II}}, ..., F_{\text{VI}}$;

- вариант 2-2: заготовка имеет внутреннюю полость, один торец может проникать в другой полностью, соприкасаясь как с внутренней цилиндрической полостью, так и с ее дном; в этом случае принимается $z = 7$ и учитываются при расчете F все площади $F_{\text{I}}, F_{\text{II}}, ..., F_{\text{VII}}$ (это заготовки, у которых наименьший по диаметру торец имеет длину большую, чем длина внутренней полости противоположного торца; в этой работе не рассматриваются).

Площади каждой поверхности заготовки определяются по известным формулам, например сумму площадей шести поверхностей заготовки в общем случае запишем в виде

$$F = \frac{\pi d_1^2}{4} + \left(\frac{\pi d_2^2}{4} - \frac{\pi d_2^{0\,2}}{4} \right) + \pi d_2 h_2 + \pi \left(\frac{d_2}{2} - \frac{d_1}{2} \right)(h - h_1 - h_2) + \pi d_1 h_1 + \pi d_2^0 h_2^0 \cdot$$

Для определения показателей, расположенных в квадратных скобках выражения (2), для каждого варианта приведены поясняющие рисунки.

На рис. 3, а показаны 25 возможных сочетаний поверхностей заготовки, подходящие каждому из трех вариантов. На рис. 3, б показаны дополнительные 10 сочетаний, подходящие к вариантам 1-2 и 2-1, так как сочетание VI-VI исключается из-за того, что их контакт невозможен. На рис. 3, в показаны скорректированные 4 сочетания из предыдущего варианта, которые из-за возможности проникновения одного торца в другой преобразованы.

Анализируя каждый случай сцепления, получим сначала $\sqrt{\xi_{xi}^2 + \xi_{yi}^2} = \sqrt{2}A$ – для сочетаний 1, 2, 6, 7; $\sqrt{\xi_{xi}^2 + \xi_{yi}^2} = A$ – для сочетаний 3 – 5, 8 – 25 (варианты 1-1, 1-2, 2-1), а также дополнительных сочетаний 26 – 35 (вариант 1-2) и дополнительных сочетаний 26 – 28 и 31 – 33 (вариант 2-1); $\sqrt{\xi_{xi}^2 + \xi_{yi}^2} = A1$ – для сочетаний 29, 30, 34, 35 (вариант 2-1). Каждому из сочетаний соответствует пара площадей сочетаемых поверхностей (например, сочетанию 1 – $F_{\text{I}} + F_{\text{I}}$, сочетанию 2 – $F_{\text{I}} + F_{\text{II}}$ и т.д.), сумма которых умножается на свойственное им выражение $\sqrt{\xi_{xi}^2 + \xi_{yi}^2}$, описывающие влияние углов ξ_{xi} и ξ_{yi} в зависимости от коэффициента трения μ_0 между поверхностями заготовок, и угла $\alpha_{\text{сц}}$, при котором сцепляющиеся заготовки начнут разъединяться. Тогда искомые вероятности для каждого варианта

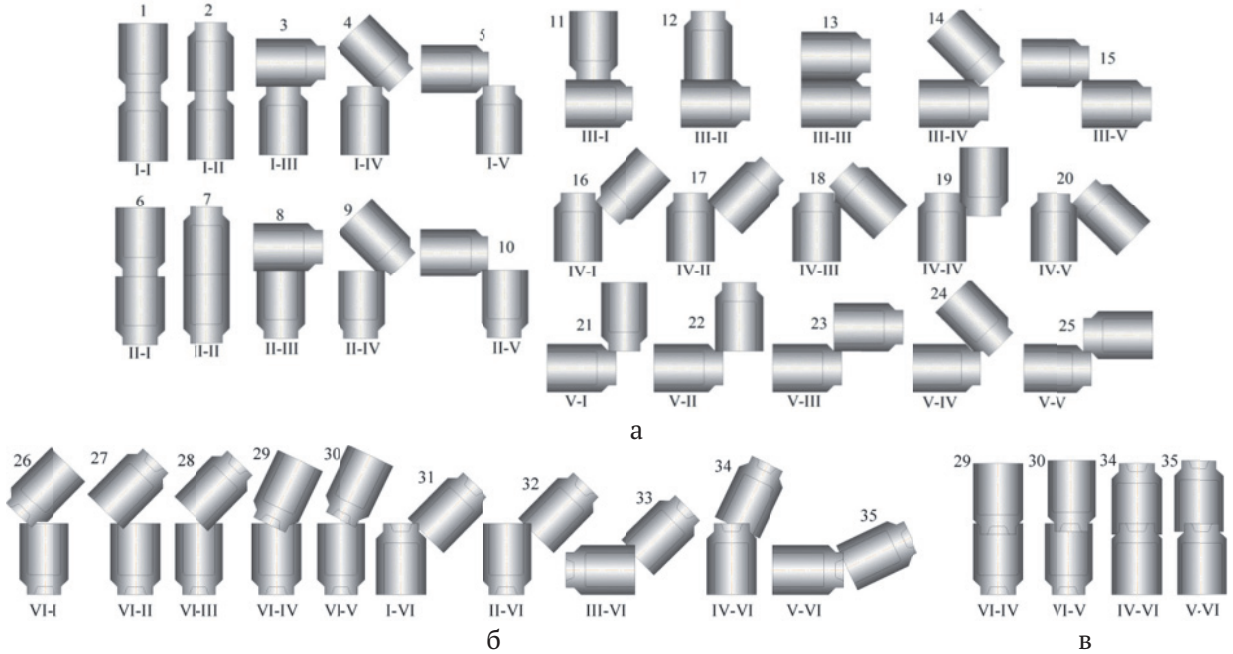


Рис. 3. Условные сочетания поверхностей заготовок: а – общие для всех вариантов (25); б – дополнительные к вариантам 1-2 и 2-1 (10); в – скорректированные к варианту 2-1 (4)

$$p_{c\ 1-1} = 1 - \frac{A\left[\sqrt{2}\left(4F_{\mathrm{I}} + 4F_{\mathrm{II}}\right) + \left(6F_{\mathrm{I}} + 6F_{\mathrm{II}} + 10F_{\mathrm{III}} + 10F_{\mathrm{IV}} + 10F_{\mathrm{V}}\right)\right]}{2\sqrt{2}\cdot 5\pi\cdot\left[F_{\mathrm{I}} + F_{\mathrm{II}} + F_{\mathrm{III}} + F_{\mathrm{IV}} + F_{\mathrm{V}}\right]};$$

$$p_{c\ 1-2} = 1 - \frac{A\left[\sqrt{2}\left(4F_{\mathrm{I}} + 4F_{\mathrm{II}}\right) + \left(10F_{\mathrm{I}} + 10F_{\mathrm{II}} + 14F_{\mathrm{III}} + 14F_{\mathrm{IV}} + 12F_{\mathrm{V}}\right)\right]}{2\sqrt{2}\cdot 5\pi\cdot\left[F_{\mathrm{I}} + F_{\mathrm{II}} + F_{\mathrm{III}} + F_{\mathrm{IV}} + F_{\mathrm{V}}\right]};$$

$$p_{c\ 2-1} = 1 - \frac{A\left[\sqrt{2}\left(4F_{\mathrm{I}} + 4F_{\mathrm{II}}\right) + \left(6F_{\mathrm{I}} + 6F_{\mathrm{II}} + 10F_{\mathrm{III}} + 10F_{\mathrm{IV}} + 10F_{\mathrm{V}}\right)\right] + A1\left[2F_{\mathrm{V}} + 4F_{\mathrm{VI}}\right]}{2\sqrt{2}\cdot 5\pi\cdot\left[F_{\mathrm{I}} + F_{\mathrm{II}} + F_{\mathrm{III}} + F_{\mathrm{IV}} + F_{\mathrm{V}} + F_{\mathrm{VI}}\right]}.$$

где $A = \arctan(\mu_0)$, $A_1 = \arctan(\alpha_{\text{сц}})$.

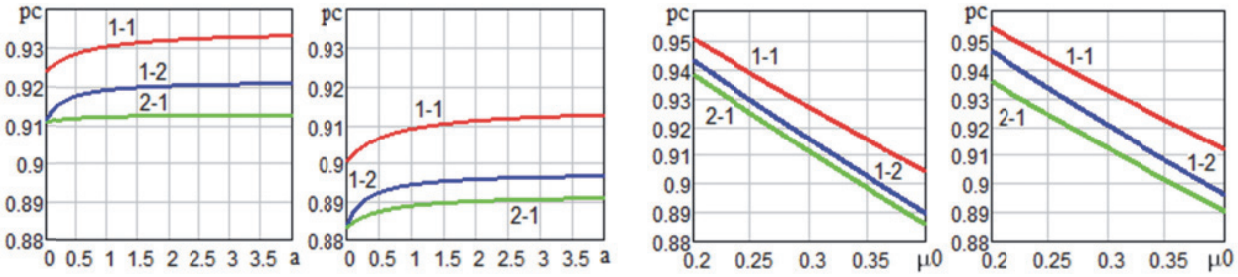
Аналогично получаются выражения и при наличии у заготовки второй полости в наименьшем из торцов.

На рис. 4 показаны сводные графики зависимостей вероятности отсутствия помех от сцепляемости заготовок друг с другом для каждого из трех вариантов в зависимости от соотношения a при значении коэффициента трения между заготовками $\mu_0 = 0,3;\ 0,4$ (рис. 4, а, б) и в зависимости от коэффициента трения между заготовками при $a = 0,25;\ 3$ (рис. 4, в, г).

Графики наглядно визуализируют, что наибольшие значения вероятности p_c наблюдаются у заготовок без внутренних полостей (вариант 1-1). При наличии внутренних полостей сцепляемость заготовок друг с другом возрастает, приводя к снижению вероятности p_c. Так для заготовок с коническим переходом одного торца в другой и наличием внутренней полости на одном из торцов, когда один торец заготовки не может полностью проникать в другой, вероятность p_c снижается (вариант 1-2), а если может (вариант 2-1), то она еще уменьшается на столько же. Соотношение a влияет на вероятность p_c только при малых значениях a, а при $a > 1,5$ вероятность практически постоянна. Коэффициент трения между заготовками играет существенную роль на вероятность p_c и при его увеличении с 0,2 до 0,4 происходит ее снижение на 5…6%, что приведет к потере производительности БЗУ в этом же диапазоне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описание вероятности отсутствия помех от сцепляемости заготовок друг с другом в математических моделях вероятности захвата позволяет учесть при проектировании БЗУ свойства заготовок, такие как геометрические размеры, форму, свойства материалов, из которых изготовлены заготовки, качества образующих их поверхностей и наличия внутренних полостей по одному или каждому



а б в г

Рис. 4. Вероятности p_c для каждого из трех вариантов в зависимости от соотношения a при $\mu_0 = 0,3; 0,4$ (а, б) и коэффициента трения μ_0 при $a = 0,25; 3$ (в, г)

из торцов. Построенные для примера графики зависимостей вероятности отсутствия помех от сцепляемости заготовок друг с другом для каждого из трех вариантов в зависимости от соотношения a и коэффициента трения между заготовками, изготовленными из одного материала и имеющими одинаковые свойства каждой из поверхностей, показали значительное влияние на вероятность p_c коэффициента трения между заготовками в процессе их ворошения. Для увеличения вероятности отсутствия помех от сцепляемости заготовок друг с другом применяют различные методы, такие как использование смазки на поверхностях заготовок для снижения коэффициента трения не только между заготовками, но и между заготовками и конструктивными элементами БЗУ, использование дополнительных элементов с установкой на поверхности вращающегося диска в зоне расположения заготовок для интенсификации их ворошения и увеличения вероятности захвата, конструирование вращающегося диска со скосами и зубьями между карманами, которые разъединяют заготовки и способствуют их направлению в органы захвата. Всё это в совокупности приведет к повышению производительности БЗУ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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.
2. *Лукин, С.А.* Методика проектирования универсального механического дискового бункерного загрузочного устройства с зубьями и регулируемым ориентатором для заготовок тел вращения в форме колпачка / С.А. Лукин, С.А. Васин, Е.В. Пантюхина // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 3. – С. 36–43.
3. *Пантюхина, Е.В.* Обеспечение надежного ориентирования асимметричных деталей формы тел вращения в дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройствах / Е.В. Пантюхина, С.А. Васин, О.В. Пантюхин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2024. – Т. 22. – №1. – С. 132–142.
4. *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.
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. 2024. – Т. 26. – № 3 (119). – С. 99–104.
6. *Бахно, А.Л.* Методика определения вероятности отсутствия помех от взаимосцепляемости асимметричных стержневых заготовок при захвате в бункерных загрузочно-ориентирующих устройствах / А.Л. Бахно, Е.В. Пантюхина, С.А. Васин, А.А. Маликов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2025. – Т. 27. – № 4 (126). – С. 164–170.
7. *Малов, А.Н.* Загрузочные устройства для металлорежущих станков / А.Н. Малов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1972. – 400 с.
8. *Прейс, В.Ф.* Автоматизация загрузки прессов штучными заготовками / В.Ф. Прейс [и др.]; под ред. В.Ф. Прейса. – М.: Машиностроение, 1975. – 280 с.
9. *Пантюхина, Е.В.* Варианты расчета вероятности отсутствия помех от взаимосцепляемости деталей при захвате / Е.В. Пантюхина, И.В. Пузиков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 8. – С. 348–352.
10. *Богодяж, А. Е.* Взаимосцепляемость заготовок при описании вероятности их захвата в механических дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройствах / А.Е. Богодяж, Е.В. Пантюхина // Вестник ТулГУ «Автоматизация: проблемы, идеи, решения: сб. научных трудов Национальной научно-техн. конференции с международным участием: АПИР-30», 10 октября 2025 года. Тула: Изд-во ТулГУ, 2025. – С. 62 – 66.
11. *Медвидь, М.В.* Автоматические ориентирующие загрузочные устройства/ М.В. Медвидь. – М.: Машгиз, 1963. – 299 с.
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.

CONSTRUCTION OF MATHEMATICAL MODEL OF PROBABILITY OF ABSENCE OF INTERFERENCE FROM INTERLOCKING OF ASYMMETRIC WORKPIECES IN HOPPER FEEDING DEVICES

© 2026 E.V. Pantyukhina[1], A.E. Bogodyazh[1], A.L. Bakhno[2], S.A. Vasin[1]

[1] Tula State University, Tula, Russia
[2] PJSC "Imperial Tula Arms Plant", Tula, Russia

The article considers the probability of absence of interference from interlocking of workpieces during their gripping in mechanical disk hopper feeders. Expressions are analyzed and compared for theoretical description of probability depending on geometric parameters and shape of loaded workpieces such as bodies of revolution and friction coefficients between them. Mathematical expressions were obtained to determine the probability of no interference from adhesion using the example of workpieces with a conical transition of one end to another, including the presence of internal cavities at the ends for two versions. In the first case, an engagement option is considered in which the outer diameter of one of the ends is larger than the diameter of the inner cavity of the other end of the workpiece, that is, one end of the workpiece cannot penetrate into the other. It is also contemplated that one end of the blank has an outer diameter smaller than the diameter of the inner cavity of the opposite end of the blank, i.e. one end of the blank may penetrate the other. Curves of probability of absence of interference from adhesiveness depending on parameters of blanks are given.

Keywords: hopper feeder, pickup probability, pickup adhesiveness, coefficient of friction between workpieces.

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-5-86-91
EDN: PGUBXM

REFERENCES

1. *Pantyukhina, E.V.* Proektirovanie mekhanicheskikh diskovy`kh bunkerny`kh zagruzochny`kh ustrojstv dlya predmetov obrabotki formy` tel vrashheniya s neyavnoj asimmetriej / E.V. Pantyukhina. – Tula: Izd-vo TulGU, 2024. – 228 p.
2. *Lukin, S.A.* Metodika proektirovaniya universal`nogo mekhanicheskogo diskovogo bunkernogo zagruzochnogo ustrojstva s zub`yami i reguliruemy`m orientatorom dlya zagotovok tel vrashheniya v forme kolpachka / S.A. Lukin, S.A. Vasin, E.V. Pantyukhina // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshheniya. – 2024. – № 3. – pp. 36–43.
3. *Pantyukhina, E.V.* Obespechenie nadezhnogo orientirovaniya asimmetrichny`kh detalej formy` tel vrashheniya v diskovy`kh bunkerny`kh zagruzochno-orientiruyushhikh ustrojstvakh / E.V. Pantyukhina, S.A. Vasin, O.V. Pantyukhin // Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova. – 2024. – T. 22. – №1. – pp. 132–142.
4. *Vasin, S.A.* Metodika opredeleniya veroyatnosti zakhvata asimmetrichny`kh detalej formy` tel vrashheniya v diskovy`kh bunkerny`kh zagruzochno-orientiruyushhikh ustrojstvakh / S.A. Vasin, E.V. Pantyukhina // Vestnik MGTU im. N.E`. Baumana. Ser. Mashinostroenie. – 2023. – № 3. – pp. 64–88.
5. *Pantyukhina, E.V.* Faktory`, vliyayushhie na proizvoditel`nost` mekhanicheskikh diskovy`kh bunkerny`kh zagruzochno-orientiruyushhikh ustrojstv / E.V. Pantyukhina, S.A. Vasin, S.N. Shevchenko, A.A. Borisov // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2024. – T. 26. – № 3 (119). – pp. 99–104.
6. *Bakhno, A.L.* Metodika opredeleniya veroyatnosti otsutstviya pomekh ot vzaimosceplyaemosti asimmetrichny`kh sterzhnevy`kh zagotovok pri zakhvate v bunkerny`kh zagruzochno-orientiruyushhikh ustrojstvakh / A.L. Bakhno, E.V. Pantyukhina, S.A. Vasin, A.A. Malikov // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2025. – T. 27. – № 4 (126). – pp. 164–170.
7. *Malov, A.N.* Zagruzochny`e ustrojstva dlya metallorezhushhikh stankov / A.N. Malov. 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie, 1972. – 400 p.
8. *Prejs, V.F.* Avtomatizaciya zagruzki pressov shtuchny`mi zagotovkami / V.F. Prejs [i dr.]; pod red. V.F. Prejsa. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 280 p.
9. *Pantyukhina, E.V.* Varianty` rascheta veroyatnosti otsutstviya pomekh ot vzaimosceplyaemosti detalej pri zakhvate / E.V. Pantyukhina, I.V. Puzikov // Izvestiya Tul`skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2022. – № 8. – pp. 348–352.
10. *Bogodyazh, A.E.* Vzaimosceplyaemost` zagotovok pri opisanii veroyatnosti ikh zakhvata v mekhanicheskikh diskovy`kh bunkerny`kh zagruzochno-orientiruyushhikh ustrojstvakh / A.E. Bogodyazh, E.V. Pantyukhina // Vestnik TulGU «Avtomatizaciya: problemy`, idei, resheniya: sb. nauchny`kh trudov Nacional`noj nauchno-tekhn. konferencii s mezhdunarodny`m uchastiem: APIR-30», 10 oktyabrya 2025 goda. Tula: Izd-vo TulGU, 2025. – pp. 62 – 66.
11. *Medvid`, M.V.* Avtomaticheskie orientiruyushhie zagruzochny`e ustrojstva/ M.V. Medvid`. – M.: Mashgiz, 1963. – 299 p.
12. *Pantyukhina, E.V.* Matematicheskoe opisanie veroyatnosti zakhvata sterzhnevy`kh stupenchaty`kh zagotovok v bunkerny`kh zagruzochno-orientiruyushhikh ustrojstvakh s naklonny`m diskom i tangencial`ny`mi karmanami / E.V. Pantyukhina, A.A. Borisov, C.A. Vasin, A.S. Klentak // iPolytech Journal. – 2024. – T. 28. – № 4. – pp. 466– 476.

Elena Pantyukhina, Doctor of Technical, Associate Professor, Professor of the Department of Industrial Automation and Robotics. E-mail: e.v.pant@mail.ru
Artem Bogodyazh, Applicant. E-mail: angry@narod.ru
Alexander Bakhno, Candidate of Technical Sciences, First Deputy General Director. E-mail: Bahno.al@tulatoz.ru
Sergey Vasin, Doctor of Technical, Professor, Professor-Consultant of the Department of Engineering Technology. E-mail: vasin_sa53@mail.ru