УДК 621.9.06

ОПИСАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ОТСУТСТВИЯ ПОМЕХ ОТ ОКРУЖНОЙ СКОРОСТИ РАДИАЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫХ ОРГАНОВ ЗАХВАТА ДИСКОВЫХ БУНКЕРНЫХ ЗАГРУЗОЧНО-ОРИЕНТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

© 2026 А.Е. Богодяж[1], Е.В. Пантюхина[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 23.09.2026

В статье рассматривается построение математической модели вероятности, характеризующей отсутствие помех для захвата от окружной скорости карманов механических дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройств, на примере трехсоставных асимметричных заготовок с коническим переходом одного цилиндрического торца в другой. Получены расчетные схемы для определения предельной окружной скорости по захвату заготовок для четырех возможных способов их западания в радиально расположенные с постоянным шагом по периферии вращающегося диска карманы и разработанные математические выражения для их описания в зависимости от параметров загружаемых заготовок и бункерного загрузочного устройства, а также графики зависимости предельных окружных скоростей в зависимости от соотношения длины и диаметра наибольшего торца заготовок для каждого варианта западания. Представлены графики зависимости вероятности отсутствия помех от окружной скорости органов захвата и сравнительные графики вероятности захвата и производительности устройства от окружной скорости органов захвата при различных значениях предельной окружной скорости.

Ключевые слова: бункерное загрузочное устройство, *способ захвата заготовок, органы захвата,* окружная скорость по захвату.

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-5-80-85
EDN: OVKRFD

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании механических дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройств (БЗУ) важнейшим начальным этапом, позволяющим оценить целесообразность его изготовления для применения в производстве, является определение фактической производительности БЗУ в виде математических выражений, позволяющих в совокупности описать взаимосвязи и взаимовлияние параметров загружаемых заготовок и БЗУ для оценки максимальных значений производительности путем выявления наиболее влияющих параметров с целью их корректировки для ее повышения [1–4].

Одним из факторов, влияющих на производительность БЗУ, является окружная скорость υ органов захвата. Ее влияние на производительность БЗУ описывается вероятностью p_{υ}, характеризующей отсутствие помех для захвата заготовок со стороны окружной скорости [5]. В связи с этим было предложено вероятность p_{υ} описывать в зависимости от предельной окружной скорости карманов по захвату заготовок [6–9], которая может быть определена на основе представленной в работе [10] гипотезы, заключающейся в том, что вероятность захвата заготовки равна нулю, когда сообщенная движущимся карманом заготовке кинетическая энергия достаточна для ее выброса из кармана на некоторую высоту, определяемую конструкцией БЗУ, в которой также были представлены и выражения для определения предельной окружной скорости по захвату для некоторых типов БЗУ. В работе [11] было приведено описание предельной окружной скорости тангенциально расположенных захватывающих органов дисковых БЗУ для асимметричных заготовок формы тел вращения. В настоящей работе определим и проанализируем предельной окружной скорости тангенциально расположенных захва-

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

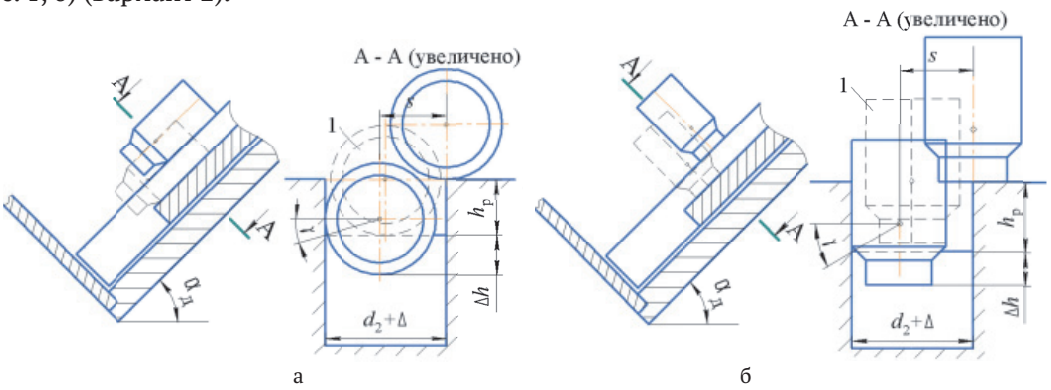
тывающих органов дисковых БЗУ для асимметричных заготовок формы тел вращения на примере трехсоставных заготовок с коническим переходом одного цилиндрического торца в другой.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ ОКРУЖНОЙ СКОРОСТИ ПО ЗАХВАТУ ЗАГОТОВОК

Окружная скорость по захвату ограничена возможностью западания заготовки в карман, поэтому ее значения должны быть значительно меньше значения $\upsilon_{\text{пред}}$, выражение для определения которого зависит от способа захвата заготовок.

При захвате радиальными карманами заготовки в нужном положении могут западать в карман одним из трех способов: скользя по радиальному пазу боковой поверхностью (вариант 1); скользя по радиальному пазу основанием I с меньшим диаметром (вариант 2); скользя по скосу (зубьям) диска (при наличии) в тангенциальном направлении (вариант 3) [12, 13].

Варианты 1 и 2. При скольжении заготовки по диску в сторону кармана по радиальному пазу захват беспечен в случае ее проникновения на требуемую высоту Δh в радиальный паз высотой $h_{\text{р}}$ (рис. 1). При этом заготовка находится или в положении лежа (рис. 1, а) (вариант 1), или в положении стоя (рис. 1, б) (вариант 2).



а б

Рис. 1. Захват заготовки радиальными карманами при скольжении в карман с поверхности диска в радиальные пазы в положении лежа (а) или стоя (б)

Используя гипотезу, по которой вероятность захвата заготовки в карманчиковом БЗУ равна нулю тогда, когда величина кинетической энергии, ей сообщенной движущимся карманом, достаточна для выброса заготовки из кармана на высоту $\Delta h + h_{\text{р}}$: $\Delta h \geq \dfrac{\upsilon^2_{\text{пред}}}{2g} - h_{\text{р}}$. Общее уравнение западания заготовки, проходящей за время t путь s по оси x и путь $\Delta h + h_{\text{р}}$ по оси y, сначала в радиальный паз, а потоп в карман, можем записать в виде двух уравнений, соответствующих этим осям x и y: $s = \upsilon_{\text{пред}} t = d_2 + \Delta t - 0,5 d_2 \cos\gamma$; $\Delta h + h_{\text{р}} = \dfrac{gt^2}{2}$. Если из первого уравнения выразить время и подставить его во второе уравнение, получим:

$$\cos\gamma = 2 + \frac{2\Delta t}{d_2} - \frac{2\upsilon^2_{\text{пред}}}{g d_2}.$$

Величина Δh определяется тем, какой поверхностью заготовка скользит по пазу:

- если боковой поверхностью (вариант 1), то $\Delta h = \dfrac{d_2}{2} - \dfrac{d_2}{2}\sin\gamma$;

- если наименьшим по диаметру торцом (вариант 2), то $\Delta h = x_c - \dfrac{d_2}{2}\sin\gamma$.

Выполняя преобразования, получим:

- если боковой поверхностью (вариант 1), то $\sin\gamma = 1 + \dfrac{2h_{\text{р}}}{d_2} - \dfrac{\upsilon^2_{\text{пред}}}{g d_2}$;

- если наименьшим по диаметру торцом (вариант 2), то $\sin\gamma = \dfrac{x_c}{d_2} + \dfrac{2h_{\text{р}}}{d_2} - \dfrac{\upsilon^2_{\text{пред}}}{g d_2}$.

Используя известную формулу $\sin^2\alpha+\cos^2\alpha=1$, выполним замену с обозначениями $A=2+\frac{2\Delta t}{d_2}$, $B=\frac{1}{gd_2}$, а также $C=1+\frac{2h_\text{р}}{d_2}$ (для западания по рис. 1, а) и $C=\frac{x_c}{d_2}+\frac{2h_\text{р}}{d_2}$ (для западания по рис. 1, б), получим, введя обозначения $Z=5B^2$; $Y=4AB+2CB$; $X=A^2+C^2-1$ предельную окружную скорость в зависимости от способа западания заготовки в карман:

$$\upsilon_\text{пред}=\sqrt{\frac{Y-\sqrt{Y^2-4ZX}}{2Z}}. \quad (1)$$

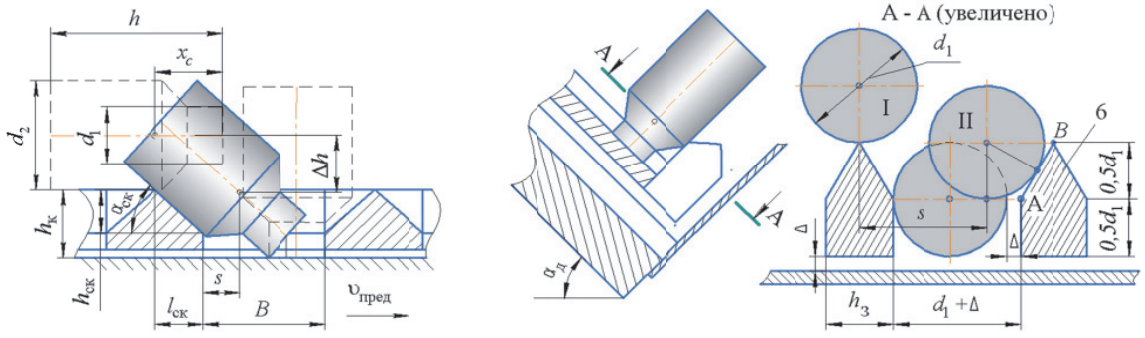
Вариант 2. Скольжение заготовки в карман с поверхности скосов или зубьев вращающегося диска, способствующих захвату, на требуемую высоту Δh (рис. 2).

Если заготовка скользит по скосу, то примем условие захвата, что заготовка частично отрывается от его стенок (трение в момент отрыва отсутствует). Тогда, проходя центром масс заготовки путь $l_\text{ск}+s$, получим $\upsilon_\text{пред}=(l_\text{ск}+s)\sqrt{\frac{g}{2\Delta h}}$. С помощью рис. 2 определим, что $s=B-d_1-(x_c\cdot\cos\alpha_\text{ск}-0,5d_1\cos(90^\circ-\alpha_\text{ск}))$, $\Delta h=h_\text{к}+0,5d_2-(x_c\cdot\sin\alpha_\text{ск}+0,5d_1\cos\alpha_\text{ск})$. Тогда

$$\upsilon_\text{пред}=(l_\text{ск}+B-d_1-x_c\cdot\cos\alpha_\text{ск}+0,5d_1\sin\alpha_\text{ск})\times\sqrt{\frac{g}{2h_\text{к}+d_2-2x_c\cdot\sin\alpha_\text{ск}-d_1\cos\alpha_\text{ск}}}. \quad (2)$$

При скольжении со стороны зубьев, толщиной $h_\text{з}$, предельное значение окружной скорости карманов высотой $h_\text{к}$, определяется по формуле

$$\upsilon_\text{пред}=\sqrt{\frac{g\sin\alpha_\text{д}}{d_1}}\left(0,5h_\text{з}+h_\text{к}-0,5\frac{d_1^2}{h_\text{з}+\sqrt{d_1^2+h_\text{з}^2}}\right). \quad (3)$$



а б

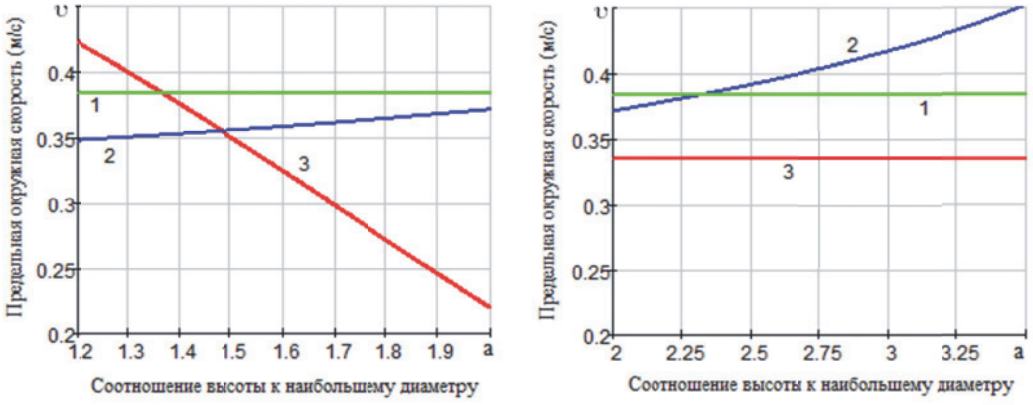
Рис. 2. Захват заготовки при скольжении в карман с поверхности скосов (а) и зубьев (б)

На рис. 3 показаны графики, визуализирующие изменение предельной окружной скорости в зависимости от соотношения а рассматриваемых заготовок. Было принято $l_\text{ск}=0,45d_2$; $h_\text{р}=0,3d_2$; $h_\text{ск}=0,5x_c$, $h_\text{з}=0,6d_2$, $h_\text{к}=1,2d_1$.

Для обеспечения максимальной производительности при построении математической модели, чтобы захват осуществлялся всеми из трех вариантов, должно выбираться минимальное значение предельной окружной скорости из трех. Более целесообразно анализировать, как влияет на вероятность захвата предельное значение окружной скорости, проведя теоретические исследования. Например, для близких к равноразмерным заготовок при значениях соотношения а от 1,48 до 2 ориентироваться стоит на $\upsilon_\text{пред}$ по третьему варианту захвата, то есть при скольжении заготовок в карман с поверхности скосов (см. рис. 2, а), как самое минимальное значение; при соотношения а от 1,2 до 1,48 ориентироваться необходимо на второй вариант западения (см. рис. 1, б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Критическое значение предельной окружной скорости позволяет учесть влияние параметров заготовок и параметров органов захвата БЗУ во взаимосвязи на фактическую производительность



а б

Рис. 3. Зависимости предельной окружной скорости по трем вариантам западания близких к равноразмерным (а) и стержневых (б) заготовок от соотношения a

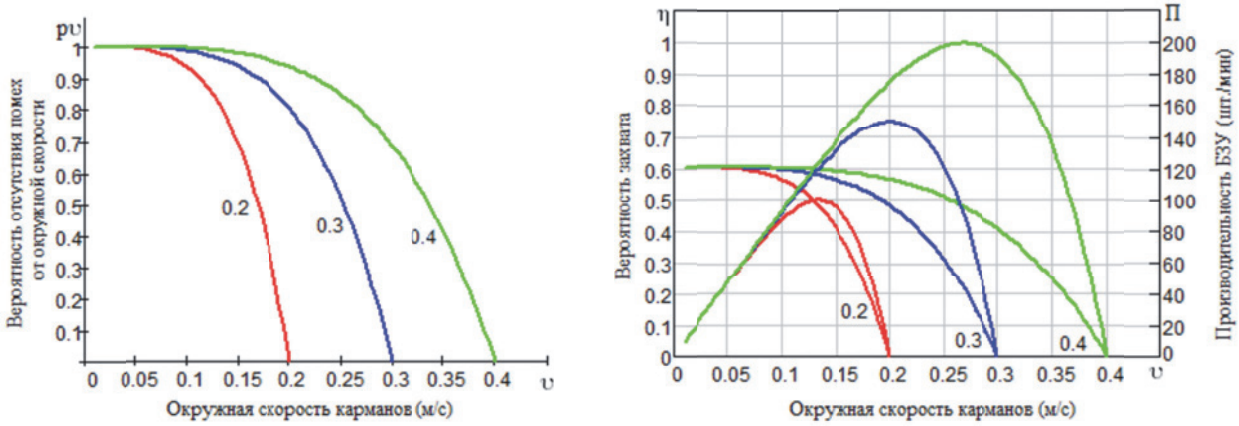
БЗУ и определить в математическом описании вероятности η захвата вероятность отсутствия помех от окружной скорости υ органов захвата в виде формулы:

$$p_{\upsilon} = 1 - \upsilon^4 \cdot \upsilon_{\text{пред}}^{-4},$$

в которой $\upsilon_{\text{пред}}$ описывается в зависимости от способа западания заготовки в карман по одной из приведенных выше формул (1), (2) или (3).

На рис. 4 показаны зависимости вероятности p_{υ}, вероятности захвата η и производительности П БЗУ от окружной скорости органов захвата при различных значениях предельной окружной скорости: 0,2; 0,3 и 0,4 м/с.

Как видно из графиков, значение предельной окружной скорости карманов играет существенную роль на производительность БЗУ. В связи с этим необходимо стремится к тому, чтобы значения $\upsilon_{\text{пред}}$ были максимальны. В первую очередь данная скорость зависит от размеров кармана и зазоров в них – чем больше зазор, тем больше вероятность полного проникновения заготовки в карман. Однако увеличение зазора может привести к нарушению работоспособности БЗУ из-за того, что в карман могут одновременно запасть несколько заготовок или произойдет их заклинивание. Поэтому учитывать влияние параметров БЗУ на стабильность его функционирования и фактические значения производительности необходимо в совокупности с параметрами загружаемых заготовок.



а б

Рис. 4. Зависимости вероятности отсутствия помех (а) вероятности захвата и производительности БЗУ (б) от окружной скорости органов захвата при различных значениях предельной окружной скорости

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васин, С.А.* Основные направления проектирования механических дисковых бункерных загрузочных устройств для асимметричных деталей формы тел вращения / С.А. Васин, Е.В. Пантюхина // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 1. – С. 8–15.
2. *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.
3. *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.
4. *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.
5. *Медвидь, М.В.* Автоматические ориентирующие загрузочные устройства / М.В. Медвидь. – М.: Машгиз, 1963. – 299 с.
6. *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.
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. *Лукин, С.А.* Подходы для математического описания вероятности захвата штучных заготовок в механических дисковых бункерных загрузочных устройствах / С.А. Лукин, Е.В. Пантюхина // Механика, оборудование, материалы и технологии: электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции, 29-30 ноября 2023 г. Краснодар: ООО «ПринтТерра», 2023. – С. 384-391
9. *Давыдова, Е.В.* Теоретические основы проектирования механических дисковых бункерных загрузочных устройств / Е.В. Давыдова, В.В. Прейс // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – № 7–1. – С. 10–20.
10. Автоматизация загрузки прессов штучными заготовками / В.Ф. Прейс [и др.]; под ред. В.Ф. Прейса. – М.: Машиностроение, 1975. – 280 с.
11. *Бахно, А.Л.* Описание предельной окружной скорости тангенциально расположенных захватывающих органов дисковых бункерных загрузочных устройств для асимметричных заготовок формы тел вращения / А.Л. Бахно, С.А. Васин, Е.В. Пантюхина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2026. – Т. 28. – № 3. – С. 214–219.
12. *Усенко, Н.А.* Системы автоматической загрузки штучных предметов обработки в технологические машины-автоматы: учебное пособие / Н.А. Усенко, В.В. Прейс, Е.В. Давыдова, Е.С. Бочарова; Под научной редакцией В.В. Прейса. – Тула: Тульский государственный университет, 2013. – 312 с.
13. *Малов, А.Н.* Загрузочные устройства для металлорежущих станков / А.Н. Малов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1972. – 400 с.

DESCRIPTION OF PROBABILITY OF ABSENCE OF INTERFERENCE FROM CIRCUMFERENTIAL SPEED OF RADIALLY LOCATED GRIPPING MEMBERS OF DISK HOPPER FEEDING AND ORIENTING DEVICES

© 2026 A.E. Bogodyazh[1], E.V. Pantyukhina[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 discusses the construction of a mathematical probability model characterizing the absence of interference for capture from the peripheral speed of pockets of mechanical disk hopper feeding and orientation devices, using the example of three-component asymmetric blanks with a conical transition of one cylindrical end to another. Calculation schemes are obtained to determine the limit peripheral speed for gripping the workpieces for four possible methods of sinking them into pockets radially located with a constant pitch along the periphery of the rotating disk and developed mathematical expressions for describing them depending on the parameters of the feeded workpieces and the hopper feeding device, as well as graphs of dependence of limit peripheral velocities depending on the ratio of length and diameter of the largest end of workpieces for each variant of falling. There are presented graphs of dependence of probability of absence of interference on circumferential speed of organs of capture and comparative graphs of probability of capture and feed rate of hopper feeder on circumferential speed of organs of capture at various values of limit circumferential speed.
Keywords: hopper feeder, method of gripping workpieces, gripping members, peripheral gripping speed.

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-5-80-85
EDN: OVKRFD

REFERENCES

1. *Vasin, S.A.* Osnovny`e napravleniya proektirovaniya mekhanicheskikh diskovy`kh bunkerny`kh zagruzochny`kh ustrojstv dlya asimmetrichny`kh detalej formy` tel vrashheniya / S.A. Vasin, E.V. Pantyukhina // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshheniya. – 2023. – № 1. – pp. 8–15.
2. *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.
3. Lukin, S.A. Matematicheskaya model` veroyatnosti zakhvata sterzhnevy`kh zagotovok v forme kolpachka v bunkernom zagruzochnom ustrojstve s zub`yami i reguliruemy`m orientatorom / S.A. Lukin // Izvestiya Tul`skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 8. – pp. 3–10.
4. *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.
5. *Medvid`, M.V.* Avtomaticheskie orientiruyushhie zagruzochny`e ustrojstva / M.V. Medvid`. – M.: Mashgiz, 1963. – 299 p.
6. *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.
7. *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.
8. *Lukin, S.A.* Podkhody` dlya matematicheskogo opisaniya veroyatnosti zakhvata shtuchny`kh zagotovok v mekhanicheskikh diskovy`kh bunkerny`kh zagruzochny`kh ustrojstvakh / S.A. Lukin, E.V. Pantyukhina // Mekhanika, oborudovanie, materialy` i tekhnologii: e`lektronny`j sbornik nauchny`kh statej po materialam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, 29-30 noyabrya 2023 g. Krasnodar: OOO «PrintTerra», 2023. – pp. 384-391
9. *Davy`dova, E.V.* Teoreticheskie osnovy` proektirovaniya mekhanicheskikh diskovy`kh bunkerny`kh zagruzochny`kh ustrojstv / E.V. Davy`dova, V.V. Prejs // Izvestiya Tul`skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2013. – № 7–1. – pp. 10–20.
10. Avtomatizaciya zagruzki pressov shtuchny`mi zagotovkami / V.F. Prejs [i dr.]; pod red. V.F. Prejsa. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 280 p.
11. *Bakhno, A.L.* Opisanie predel`noj okruzhnoj skorosti tangencial`no raspolozhenny`kh zakhvaty`vayushhikh organov diskovy`kh bunkerny`kh zagruzochny`kh ustrojstv dlya asimmetrichny`kh zagotovok formy` tel vrashheniya / A.L. Bakhno, S.A. Vasin, E.V. *Pantyukhina* // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk, 2026. – T. 28. – № 3. – pp. 214–219.
12. *Usenko, N.A.* Sistemy` avtomaticheskoj zagruzki shtuchny`kh predmetov obrabotki v tekhnologicheskie mashiny`-avtomaty`: uchebnoe posobie / N.A. Usenko, V.V. Prejs, E.V. Davy`dova, E.S. Bocharova; Pod nauchnoj redakciej V.V. Prejsa. – Tula: Tul`skij gosudarstvenny`j universitet, 2013. – 312 p.
13. *Malov, A.N.* Zagruzochny`e ustrojstva dlya metallorezhushhikh stankov / A.N. Malov. 2-e izd., pererab. i dop. M.: Mashinostroenie, 1972. – 400 p.

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