

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИ АКТИВНОМ ОРИЕНТИРОВАНИИ АСИММЕТРИЧНЫХ ЗАГОТОВОК В МЕХАНИЧЕСКИХ ДИСКОВЫХ БУНКЕРНЫХ ЗАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ

© 2025 А.Л. Бахно¹, Е.В. Пантюхина², С.А. Васин²

¹ ПАО «Императорский Тульский оружейный завод», г. Тула, Россия

² Тульский государственный университет, г. Тула, Россия

Статья поступила в редакцию 05.10.2025

В статье рассматриваются способы ориентирования асимметричных по торцам заготовок тел вращения в механических дисковых бункерных загрузочных устройствах. Приводятся результаты сравнения производительности бункерных загрузочных устройств при различных способах ориентирования заготовок с учетом различных факторов и возможные конструктивные решения для ее повышения. Рассматриваются возможные способы захвата заготовок в бункерных загрузочных устройствах и определяются благоприятные для захвата положения различными поверхностями заготовок в зависимости от способов захвата и ориентирования. Представлены полученные выражения для описания вероятности, характеризующей благоприятное положение заготовки для различных способов захвата, при реализации в конструкции бункерных загрузочных устройств с активным ориентированием на примере цилиндрических заготовок, один из торцов которых выполнен в форме усеченного конуса.

Ключевые слова: бункерное загрузочно-ориентирующее устройство, асимметричные заготовки, активное ориентирование заготовок, вероятность захвата заготовок.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-5-135-140

EDN: OCEDJO

ВВЕДЕНИЕ

В механических дисковых бункерных загрузочных устройствах (БЗУ), осуществляющих в структуре автоматизированных систем автоматизацию процесса загрузки штучных небольших по массе заготовок (укупорочные элементы, строительные, монтажные и другие виды патронов, их составляющие, а также заготовки различных видов массовых производств), характеризующихся асимметрией по торцам, ориентирование может быть реализовано двумя способами. При активном способе ориентирования в БЗУ все захваченные в неправильном положении заготовки переориентируются в требуемое положение, а при пассивном – происходит их выброс (с помощью дополнительных конструктивных элементов БЗУ или самопроизвольно под действием силы тяжести заготовки) обратно в зону захвата [1, 2]. При этом каким бы из указанных способов не осуществлялось ориентирование заготовок, оно должно быть стабильным и надежным, чтобы производительность БЗУ находилась в требуемых для производства диапазонах [3, 4].

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ОРИЕНТИРОВАНИЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ БУНКЕРНЫХ ЗАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Способ ориентирования оказывает существенную роль на производительность БЗУ. Как показали ранее проведенные исследования для БЗУ с радиальными профильными карманами для асимметричных заготовок производительность БЗУ при активном ориентировании заготовок по сравнению с пассивным способом в 2,6 раз больше для заготовок с соотношением длины и диаметра 1,5 и в 1,9 раз больше при соотношении длины к диаметру, равном 3 [2]. Данные исследования были проведены при одном и том же зазоре в кармане БЗУ, равным 0,1 наибольшего диаметра заготовки, так как при большей величине зазора профильный карман может захватывать заготовки в неправильном положении.

В последние десятилетия для заготовок с неявной асимметрией по торцам и практически отсутствующим смещением центра масс вдоль продольной оси симметрии разрабатываются и усовершен-

Бахно Александр Львович, кандидат технических наук, первый заместитель генерального директора.

E-mail: Bahno.al@tulatoz.ru

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

ствуются БЗУ, в которых реализовано пассивное ориентирование [5]. Такая необходимость была обусловлена тем, что для заготовок с неявной асимметрией ориентирование активным традиционным способом с помощью профильных карманов, трафаретов и копиров при зазоре 0,1 диаметра заготовки сталкивается с рядом проблем. Это приводит к частым заклиниваниям заготовок в рабочих органах БЗУ, выдаче из БЗУ неориентированных заготовок, длительным остановам, снижению стабильной работы и потере производительности БЗУ. Таким образом, надежность БЗУ резко снижается, нарушая работу всей системы автоматической загрузки и технологического оборудования в целом [6].

Чтобы компенсировать потери производительности при пассивном ориентировании было предложено в БЗУ заменить профильный карман на прямоугольный [7]. Пассивное ориентирование в таком БЗУ стал выполнять объемный кольцевой ориентатор, расположенный по периферии прямоугольных карманов. Компенсация производительности была реализована тем, что ширина кармана может быть гораздо больше 0,1 диаметра заготовки, так как карман обеспечивает исключительно захват.

В работе [2] было проанализировано влияние такого зазора на производительность БЗУ, при его значениях 0,2 и 0,3 диаметра заготовки. Например, для соотношения длины к диаметру заготовки, равного 1,5, было показано, что увеличение зазора прямоугольного кармана и реализации пассивного ориентирования в БЗУ по сравнению с зазором 0,1 позволит увеличить производительность в 1,5 раза при зазоре 0,2 диаметра и в 1,8 раз при зазоре 0,3 диаметра. Тогда разница между максимальными значениями производительности при активном и пассивном ориентировании сократилась в 2,7 раза, то есть при активном ориентировании производительность БЗУ выше в 1,2 раза.

Тем не менее, при конструировании БЗУ для асимметричных заготовок необходимо, чтобы их производительность была максимально возможной, а надежность и стабильность работы находилась на постоянно высоком уровне.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ЗАХВАТА АСИММЕТРИЧНЫХ ПО ТОРЦАМ ЗАГОТОВОК В БУНКЕРНЫХ ЗАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ, РЕАЛИЗУЮЩИХ АКТИВНОЕ ОРИЕНТИРОВАНИЕ

Средняя фактическая производительность БЗУ Π_{ϕ} (шт./мин) определяется произведением теоретической или максимально возможной производительности Π_{τ} , которая зависит от числа захватывающих органов (карманов) и частоты вращения диска, и вероятности захвата η , характеризующей условия, при которых реализуется процесс захвата заготовки. Так как на процесс захвата влияют условия для благоприятного захвата заготовки требуемой с позиций правильного положения в дальнейшем ориентировании положения, взаимосцепляемость заготовок между собой и окружная скорость органов захвата v , то вероятность захвата представляется в виде произведения вероятностей, каждая из которых характеризует соответствующие положения:

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

где p_i – вероятность, характеризующая благоприятное положение заготовки для захвата на поверхности вращающегося диска; p_c – вероятность, характеризующая отсутствие помех от взаимной сцепляемости заготовок; p_v – вероятность, характеризующая отсутствие помех со стороны окружной скорости органов захвата; $v_{\text{пред}}$ – предельное значение окружной скорости, при которых в карман не успеет запасть ни одна заготовка [8].

Из всех трех вероятностей в выражении (1) вероятность p_i отражает влияние способа ориентирования, реализуемого конструкцией БЗУ, на вероятность захвата заготовок и, тем самым, производительность БЗУ. Вероятность p_i определяют все ограничивающие заготовку поверхности, из которых возможен захват. В БЗУ с активным ориентированием число возможных для захвата поверхностей заготовок, из которых она потом будет приведена в требуемое положение, увеличивается. Поэтому для определения вероятности p_i первоначально необходимо выявить те положения заготовки, из которых в дальнейшем органами ориентирования БЗУ заготовка будет сориентирована в требуемое положение.

Существуют следующие способы захвата стержневых асимметричных заготовок карманами, расположенными на наклонном вращающемся диске БЗУ (рис. 1):

- радиально расположенными карманами в положении лежа (например, БЗУ с радиальными профильными карманами, БЗУ с радиальными карманами и кольцевым ориентатором и др.);
- радиально расположенными карманами в положении стоя (например, БЗУ с зубьями, БЗУ с зубьями и кольцевым ориентатором и др.);

- тангенциально расположенными карманами в положении лежа (например, БЗУ с тангенциальными карманами и др.).

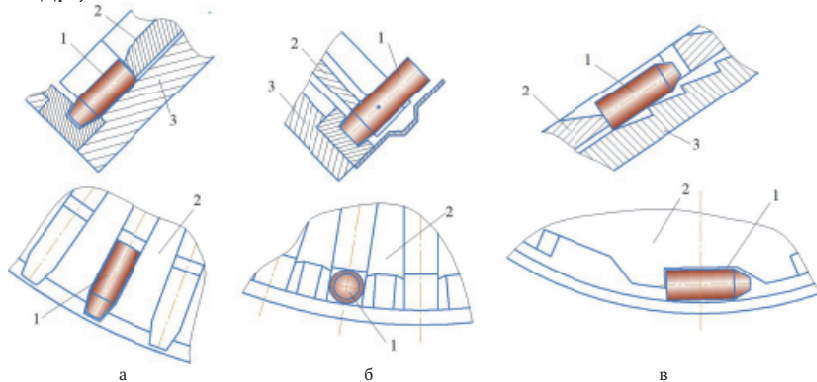


Рис. 1. Схемы захвата заготовок захватывающими органами БЗУ:
а – радиально расположенными карманами в положении лежа;
б – радиально расположенными карманами в положении стоя;
в – тангенциально расположенными карманами в положении лежа

Рассмотрим, как влияет способ ориентирования в БЗУ на производительность БЗУ при различных способах захвата заготовок на примере цилиндрической заготовки, один из торцов которой выполнен в форме усеченного конуса.

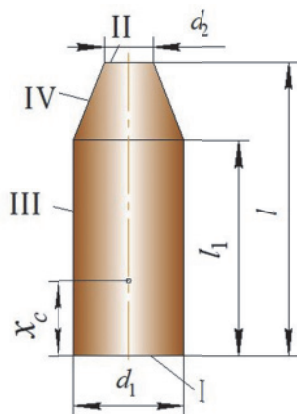


Рис. 2. Схема асимметричной заготовки с торцом в форме усеченного конуса с обозначением геометрических параметров и ограничивающих ее поверхностей

дены на рис. 2:

$$P_I = \frac{1}{2} - \frac{l - x_c}{2\sqrt{(l - x_c)^2 + 0,25d_1^4}}; P_{II} = \frac{1}{2} - \frac{x_c}{2\sqrt{x_c^2 + 0,25d_1^4}}; P_{III}, P_{IV} = 1 - (P_I + P_{II}).$$

В зависимости от способа захвата заготовки при ее активном ориентировании необходимыми положениями, которыми после подбрасывания заготовки она должна оказаться на вращающемся диске, должны быть следующие положения.

Для захвата заготовки радиально расположенными карманами в положении лежа: положениями III, IV (P_{III}, P_{IV}), повернувшись к карману при активном ориентировании или стороной I (P_I), или стороной II (P_{II}). При этом, если бы в БЗУ было реализовано пассивное ориентирование заготовок, то требуемыми положениями были бы положения III, IV (P_{III}, P_{IV}), повернувшись к карману только стороной II (P_{II}).

Для захвата заготовки радиально расположенными карманами в положении стоя: положениями I (P_I) или II (P_{II}), а также из положений P_{III}, P_{IV} она может повернуться к карману сторонами I (P_I) или II (P_{II}). При этом, при реализации в БЗУ пассивного ориентирования требуемым положением было бы положение I (P_I), а также из положений P_{III}, P_{IV} заготовка для ее захвата может повернуться к карману только стороной I (P_I).

Для захвата заготовки тангенциально расположенными карманами в положении лежа: положениями III, IV (P_{III}, P_{IV}). При этом, если бы в БЗУ было реализовано пассивное ориентирование за-

готовок, то требуемым положением было бы только то, при котором заготовка находится в кармане только в одном положении (например, асимметричным торцом вправо).

Затем определим вероятности $p_{i\max}$ и $p_{i\min}$, которые позволяют оценить каким образом распределяется вероятность p_i на всем протяжении зоны захвата, в которой заготовки располагаются одним и несколькими слоями соответственно.

В зависимости от способа захвата, реализуемого в БЗУ при активном ориентировании заготовок, получим следующие выражения для вероятностей $p_{i\max}$ и $p_{i\min}$.

Для захвата заготовки радиально расположенными карманами в положении лежа:

$$p_{i\max} = \frac{p_{III,IV}}{\pi} \left(\arccos \frac{x_c}{\sqrt{x_c^2 + 0,25d_1^4}} + \arccos \frac{l - x_c}{\sqrt{(l - x_c)^2 + 0,25d_2^4}} - 2 \arcsin \frac{\mu}{\alpha_6} \right),$$

$$p_{i\min} = \frac{p_{III,IV}}{\pi} \left(\arcsin \frac{h_k}{\sqrt{d_1^2 + l^2}} - \arcsin \frac{d_1}{\sqrt{d_1^2 + l^2}} \right).$$

где h_k – ширина расположенных на вращающемся диске БЗУ карманов; α_6 – угол наклона вращающегося диска БЗУ; μ – коэффициент трения между заготовками и конструктивными элементами БЗУ.

Для захвата заготовки радиально расположенными карманами в положении стоя:

$$p_{i\max} = p_I + p_{II} + \frac{p_{III,IV}}{\pi} \left(2 \arccos \frac{x_c}{\sqrt{x_c^2 + 0,25d_1^4}} - 2 \arcsin \frac{\mu}{\alpha_6} \right),$$

$$p_{i\min} = \frac{p_{III,IV}}{\pi} \left(\arcsin \frac{h_k}{\sqrt{d_1^2 + l^2}} - \arcsin \frac{d_1}{\sqrt{d_1^2 + l^2}} \right).$$

Для захвата заготовки тангенциально расположенными карманами в положении лежа:

$$p_{i\max} = \frac{p_{III,IV}}{\pi} \left(\pi - \arccos \frac{x_c}{\sqrt{x_c^2 + 0,25d_1^4}} - \arccos \frac{l - x_c}{\sqrt{(l - x_c)^2 + 0,25d_2^4}} - 2 \arcsin \frac{\mu}{\alpha_d} \right),$$

$$p_{i\min} = \frac{p_{III,IV}}{\pi} \left(\arcsin \frac{h_k}{\sqrt{d_1^2 + l_1^2}} - \arccos \frac{l_1}{\sqrt{l_1^2 + d_1^2}} \right).$$

Тогда вероятность p_i , характеризующая благоприятное положение заготовки для захвата на поверхности вращающегося диска, будет определяться способом захвата, учитываемым в выражении вероятности $p_{i\max}$, по выражению

$$p_i = 1 - (1 - p_{i\max})^3 (1 - p_{i\min})^{\frac{\pi R \phi_{\text{захв}}}{180l}}.$$

где R – радиус вращающегося диска по оси карманов; $\phi_{\text{захв}}$ – зона в нижней части бункера БЗУ, где осуществляется захват заготовок, определяемая из условий статического равновесия заготовок в кармане при отсутствии помех со стороны других заготовок при ее захвате.

Полученные выражения для вероятностей $p_I, p_{II}, p_{III}, p_{IV}, p_{i\max}$ и $p_{i\min}$ позволяют математически описать и оценить вероятность p_i при различных способах захвата для активного ориентирования заготовок.

Активное ориентирование заготовок в большинстве конструкций БЗУ осуществляется профильными карманами, которые повторяют конфигурацию заготовок по внешнему контуру. Для таких БЗУ существенно ограничивается величина зазора по шагу Δt .

Так, при определении предельного значения окружной скорости $v_{\text{пред}}$, при которых в карман не успеет запасть ни одна заготовка, входящего в выражение (1) при описании вероятности p_v , решающую роль играет зазор по шагу Δt . Если в БЗУ органы захвата повторяют профиль заготовки, чтобы в дальнейшем обеспечить ее ориентирование, то значения Δt минимальны. В противном случае величина данного зазора может быть выбрана максимально возможной; ограничением в

данном случае выступает только отсутствие возможности западания в карман второй заготовки (то есть величина зазора по шагу должна быть меньше наименьшего диаметра торца заготовки – d_2).

Максимально возможная производительность Π_T БЗУ также определяется зазором по шагу. При этом, чем больше зазор по шагу Δt , тем меньше карманов можно расположить на периферии вращающегося диска. Это приведет к снижению производительности БЗУ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, повышение производительности БЗУ должно рассматриваться с различных позиций, так как на нее влияет целый ряд противоречивых факторов. Несомненно, для повышения производительности БЗУ необходимо стремиться тому, чтобы в конструкции было реализовано активное ориентирование заготовок. Наличие в БЗУ захватывающих органов, не повторяющих конфигурацию заготовок и обеспечивающих исключительно их захват, также способствует значительному повышению производительности БЗУ за счет увеличения величины зазора по шагу. Все это требует принятия новых конструкторских решений при проектировании БЗУ, что позволит существенно повысить эффективность их функционирования при загрузке асимметричных заготовок. Перспективой дальнейших исследований является сравнение характеризующей благоприятное положение заготовки вероятности при различных способах захвата и ориентирования, учитывая при этом размеры органов захвата и ориентирования как для заготовок с явной, так и для заготовок с неявной асимметрией по торцам, а также оценка влияния зазора по шагу на вероятность захвата заготовок и производительность БЗУ в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов, А.А. Автоматическое ориентирование штучных предметов в механических бункерных загрузочно-ориентирующих устройствах / А.А. Борисов, С.А. Васин, Е.В. Пантюхина // В сборнике: 60-я Научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава ТулГУ с всероссийским участием. Сборник докладов. В 2-х частях. – Тула, 2024. – С. 136–142.
2. Пантюхина, Е.В. Сравнительный анализ производительности механических дисковых бункерных загрузочных устройств при активном и пассивном способах 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.
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. 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. – 2024. – Т. 26. – № 2 (118). – С. 48–54.
5. Пантюхина, Е.В. Научные основы проектирования механических дисковых бункерных загрузочных устройств для деталей с неявной асимметрией по торцам / Е.В. Пантюхина, В.В. Прейс // Современные технологии сборки: материалы VII Международного научно-технического семинара. – М., 2021. – С. 111–120.
6. Пантюхина, Е.В. Проблемы автоматической загрузки деталей формы тел вращения с неявной асимметрией традиционными загрузочными устройствами / Е.В. Пантюхина // Современные технологии в науке и образовании – СТНО–2021: сборник тр. IV Международного научно-технического форума: в 10 т. – Т. 6. Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2021. – С. 95–101.
7. Прейс, В.В. Пат. 2720017 Российская Федерация. МПК В23Q 7/02. Бункерное загрузочное устройство для цилиндрических заготовок с конической формой одной из концевых частей / В.В. Прейс, Е.В. Пантюхина. – № 2019119579; заявл. 21.06.2019; опубл. 23.04.2020. – Бюл. № 12.
8. 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.
9. 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.
10. Пантюхина, Е.В. Методология комплексного подхода для оценки производительности механических дисковых бункерных загрузочных устройств / Е.В. Пантюхина // Материалы IV Международной научно-технической конференции в г. Омск; науч. ред. П.Д. Балакин. – 2020. – С. 380–388.

PECULIARITIES OF DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS OF FEED RATE AT ACTIVE ORIENTATION OF ASYMMETRIC BILLETS IN MECHANICAL DISK HOPPER FEEDERS

© 2025 A.L. Bakhno¹, E.V. Pantyukhina², S.A. Vasin²

¹ PJSC “Imperial Tula Arms Plant”, Tula, Russia

² Tula State University, Tula, Russia

The article describes methods of orientation of rotation bodies asymmetric at the end faces of workpieces in mechanical disk hopper feeders. Results of comparison of feed rate of hopper feeding devices at different methods of billet orientation with account of various factors and possible design solutions for its increase are given. Possible methods of gripping workpieces in hopper feeders are considered and positions favorable for gripping by different surfaces of workpieces are determined depending on gripping and orientation methods. The obtained expressions are presented to describe the probability characterizing the favorable position of the workpiece for various gripping methods when implementing hopper feeding devices with active orientation on the example of cylindrical workpieces, one of the ends of which is made in the form of a truncated cone.

Keywords: hopper feeding-orienting device, asymmetric workpieces, active orientation of workpieces, probability of workpieces capture.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-5-135-140

EDN: OCEDJO

REFERENCES

1. *Borisov, A.A. Avtomaticheskoe orientirovanie shtuchnykh predmetov v mexanicheskikh bunkernykh zagruzochno-orientiruyushhikh ustroystvakh / A.A. Borisov, S.A. Vasin, E.V. Pantyukhina // V sbornike: 60-ya Nauchno-prakticheskaya konferenciya professorsko-prepodavatel'skogo sostava TulGU s vsrossijskim uchastiem. Sbornik dokladov. V 2-x chastyax. – Tula, 2024. – pp. 136–142.*
2. *Pantyukhina, E.V. Sravnitel'ny'j analiz proizvoditel'nosti mexanicheskix diskovykh bunkernykh zagruzochnykh ustroystv pri aktivnom i passivnom sposobax orientirovaniya asimmetrichnykh detalej / E.V. Pantyukhina, I.V. Puzikov // V sbornike: Mexanika, oborudovanie, materialy i tehnologii. E'lektronny'j sbornik nauchnykh statej po materialam shestoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Krasnodar, 2024. – pp. 157–165.*
3. *Pantyukhina, E.V. Obespechenie nadezhnogo orientirovaniya asimmetrichny'x detalej formy tel vrashheniya v diskovy'x bunkernykh zagruzochno-orientiruyushhix ustroystvax / 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. *Pantyukhina, E.V. Povy'shenie nadezhnosti i proizvoditel'nosti diskovykh bunkernykh zagruzochno-orientiruyushhikh ustroystv dlya asimmetrichnykh detalej tel vrashheniya / E.V. Pantyukhina, S.A. Vasin, S.N. Shevchenko, S.A. Lukin // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2024. – T. 26. – № 2 (118). – pp. 48–54.*
5. *Pantyukhina, E.V. Nauchny'e osnovy proektirovaniya mexanicheskix diskovykh bunkernykh zagruzochnykh ustroystv dlya detalej s neyavnoj asimmetriey po torczam / E.V. Pantyukhina, V.V. Prejs // Sovremennyye tehnologii sborki: materialy VII Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo seminara. – M., 2021. – pp. 111–120.*
6. *Pantyukhina, E.V. Problemy avtomaticheskoy zagruzki detalej formy tel vrashheniya s neyavnoj asimmetriey traditsionny'mi zagruzochny'mi ustroystvami / E.V. Pantyukhina // Sovremennyye tehnologii v nauke i obrazovanii – STNO–2021: sbornik tr. IV Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo foruma: v 10 t. – T. 6. Ryazan': Ryazan. gos. radiotexn. un-t, 2021. – pp. 95–101.*
7. *Prejs, V.V. Pat. 2720017 Rossijskaya Federaciya. MPK B23Q 7/02. Bunkernoe zagruzochnoe ustroystvo dlya cilindricheskix zagotovok s konicheskoy formoj odnoj iz koncevykh chastej / V.V. Prejs, E.V. Pantyukhina. – № 2019119579; yayavl. 21.06.2019; opubl. 23.04.2020. – Byul. № 12.*
8. *Vasin, S.A. Metodika opredeleniya veroyatnosti zavvata asimmetrichnykh detalej formy tel vrashheniya v diskovykh bunkernykh zagruzochno-orientiruyushhikh ustroystvakh / S.A. Vasin, E.V. Pantyukhina // Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. Mashinostroenie. – 2023. – № 3. – pp. 64–88.*
9. *Lukin, S.A. Matematicheskaya model veroyatnosti zavvata sterzhnevyykh zagotovok v forme kolpachka v bunkernom zagruzochnom ustroystve s zub'yami i reguliruemyim orientatorom / S.A. Lukin // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 8. – pp. 3–10.*
10. *Pantyukhina, E.V. Metodologiya kompleksnogo podxoda dlya ocenki proizvoditel'nosti mexanicheskikh diskovykh bunkernykh zagruzochnykh ustroystv / E.V. Pantyukhina // Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii v g. Omsk; nauch. red. P.D. Balakin. – 2020. – pp. 380–388.*

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

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