

УДК 621.9.06

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МЕХАНИЧЕСКОГО БУНКЕРНОГО ЗАГРУЗОЧНО-ОРИЕНТИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА С НАКЛОННЫМ ДИСКОМ И ТАНГЕНЦИАЛЬНЫМИ КАРМАНАМИ ДЛЯ СТЕРЖНЕВЫХ СТУПЕНЧАТЫХ ЗАГОТОВОК

© 2025 Е.В. Пантюхина¹, С.А. Васин¹, А.А. Борисов², А.А. Маликов¹

¹ Тульский государственный университет, г. Тула, Россия

² ФГБУ «3 ЦНИИ» Минобороны России, г. Москва, Россия

Статья поступила в редакцию 15.06.2025

В статье приводится описание систем автоматической загрузки различного технологического оборудования массовых производств штучными заготовками в требуемом ориентированном положении на базе механических дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройств. Рассматривается разработанная конструкция универсального бункерного загрузочно-ориентирующего устройства с наклонным вращающимся диском и тангенциально расположенными органами захвата для стержневых цилиндрических и сложной формы ступенчатых заготовок. Представлены особенности функционирования устройства и его регулировки с помощью опорных роликов под разные диаметры стержневых ступенчатых заготовок, имеющих схожую длину, что позволяет существенно снизить затраты при проектировании и сократить длительность переналадки. Предложенное устройство в процессе активного ориентирования заготовок способствует снижению числа деформированных при ворошении в бункере заготовок, которые могут многократно захватываться и сбрасываться при их неправильном захвате обратно в общую массу, повышению вероятности захвата заготовок для увеличения производительности устройства.

Ключевые слова: бункерное загрузочно-ориентирующее устройство с тангенциальными карманами, активное ориентирование, стержневые ступенчатые заготовки, универсальное загрузочное устройство.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-3-156-162

EDN: RTPUZE

ВВЕДЕНИЕ

Различное технологическое оборудование массовых производств для осуществления операций вытяжки заготовок или полуфабрикатов, сборки изделий из нескольких деталей, упаковки готовой продукции и других операций технологического процесса требует надежной автоматизированной подачи указанных заготовок, полуфабрикатов, деталей и изделий к рабочим органам с требуемой производительностью, составляющей в зависимости от типа операции от 120 до 400 шт./мин и выше. В ряде массовых производств, таких как, производство патронов различных видов оружия, строительно-монтажных патронов, элементов приводных роликовых цепей, широко применяются автоматизированные технологические системы на основе роторных машин с производительностью 200 и более шт./мин [1–3].

Автоматическую загрузку штучных заготовок в технологическое оборудование осуществляют различные системы. Для автоматической загрузки исключительно роторных машин используют многопозиционные роторные системы автоматической загрузки, построенные по аналогичному роторным машинам принципу с целью обеспечения синхронной подачи заготовок в непрерывно движущиеся транспортные органы роторных машин [4]. Стационарные системы для автоматической загрузки штучных заготовок используются для всех типов технологического оборудования. Основной частью стационарных систем автоматической загрузки является вибрационное или механическое бункерное загрузочно-ориентирующее устройство (БЗУ). Вибрационные БЗУ, как правило, используют для заготовок, длина которых равна или меньше их диаметра (по классификации их называют равноразмерными, пластинчатыми или плоскими). Принцип их функционирования заключается в ориентировании заготовок путевыми ориентаторами, представляющими собой упоры или трафареты (форма определяется геометрией заготовок) и расположенными на дорожке, по которой под воздействием вибрации движутся заготовки. Механические БЗУ в отли-

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

Борисов Александр Александрович, начальник лаборатории. E-mail: boris912@mail.ru

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

чие от вибрационных применяют для загрузки более широкой группы заготовок, в том числе и с неявной асимметрией [5].

В различных видах массовых производств широко распространены ступенчатые заготовки тел вращения, у которых длина в 3 и более раз превышает их наибольший диаметр (так называемые стержневые заготовки). На рис. 1 представлены стержневые ступенчатые заготовки и их основные геометрические параметры, у которых $6 \geq l/d_1 \geq 3$. Центр масс заготовок явно смещен относительно продольного центра заготовки.

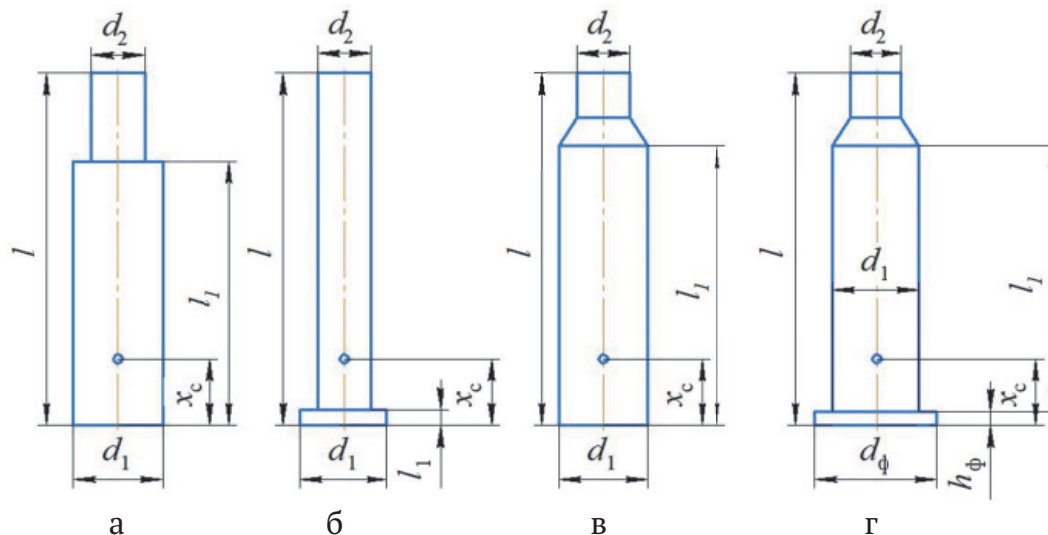


Рис. 1. Стержневые цилиндрические (а, б) и сложной формы (в, г) ступенчатые заготовки и их основные геометрические параметры

К таким заготовкам можно отнести заготовки, имеющие разные диаметры торцов (цилиндрические ступенчатые), и заготовки, у которых разные их части имеют и цилиндрическую, и коническую форму (сложные ступенчатые). Встречаются ступенчатые заготовки, характеризующиеся как отсутствием смещения центра масс, так и неявной асимметрией торцов. Такие заготовки очень сложно ориентировать [6, 7].

Проанализировав универсальные БЗУ с позиции их возможного применения для стержневых ступенчатых предметов различных форм можно сделать следующие выводы. В большинстве конструкций реализуется способ ориентирования, при котором неправильно захваченные органы захвата изделия выпадают обратно в зону захвата (пассивное ориентирование) и заново участвуют в процессах захвата и, затем, ориентирования. Это является следствием снижения эффективности функционирования БЗУ, которое заключается в следующем. Во-первых, пассивное ориентирование существенно снижает производительность БЗУ. Как показали данные исследования, разница по производительности БЗУ при реализации активного и пассивного ориентирования может составлять 2,7 раз [8]. Во-вторых, сброс обратно в зону захвата неправильно сориентированных в органе захват заготовок приведет к существенному износу их поверхности (сколы покрытия, истирание поверхности и другие дефекты), который не допустим для изделий ответственного назначения в отраслях специального машиностроения.

Тем не менее, при разработке средств автоматической загрузки штучных заготовок целесообразно стремиться к созданию именно универсальных конструкций БЗУ для заготовок определенной формы, способных переналаживаться под их любой типоразмер. Это позволит расширить технические возможности БЗУ, повысить надежность их функционирования, существенно сократить сроки на переналадку технологического оборудования и тем самым существенно увеличить производительность.

РАЗРАБОТКА И ОПИСАНИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО БУНКЕРНОГО ЗАГРУЗОЧНО-ОРИЕНТИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Для автоматической загрузки цилиндрических и сложной формы ступенчатых заготовок было предложено регулируемое механическое дисковое БЗУ с тангенциально расположенными органами захвата, в которых реализовано активное ориентирование (рис. 2), что наиболее целесообразно с точки зрения повышения стабильности работы, производительности БЗУ, сокращения сроков при переналадке и существенному снижению затрат при проектировании.

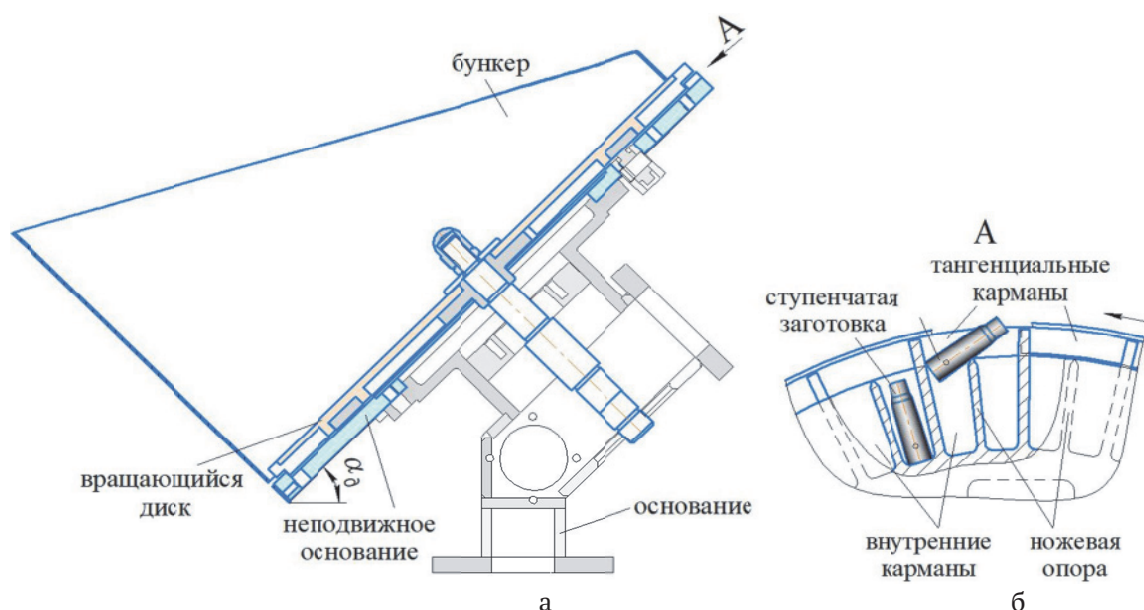


Рис. 2. Общий вид усовершенствованного универсального БЗУ с наклонным диском и тангенциальными органами захвата (карманами):
а – общий вид БЗУ в разрезе; б – схема расположения заготовок при активном переориентировании (вид А)

В БЗУ сначала обеспечивается захват заготовок тангенциально расположенными карманами в одном из двух положений, а затем захваченные заготовки направляются в верхнюю часть бункера. В этой зоне на ножевых опорах, расположенных под диском, происходит активное ориентирование заготовок под действием смещения их центра масс так, что в каком бы из двух своих положений не была захвачена заготовка, она в любом случае окажется своим тяжелым торцом в одном из внутренних карманов, разделенных ножевой опорой.

Прототипом предлагаемой конструкции являются традиционное БЗУ с вращающимися радиальными карманами на наклонном диске для цилиндрических ступенчатых заготовок [9], недостатками которого являются: высокий шанс повредить заготовки отличающихся диаметром меньшего торца на 38% из-за отсутствия регулировок зазора между буртиком нижнего диска и вращающимся диском и высоты карманов, нестабильная работа при загрузке стержневых ступенчатых заготовок отличающихся диаметром большего торца на 10% и более; нестабильное переориентирование и западание во внутренние карманы заготовок из-за уравновешенного движения благодаря плавному изменению высоты буртика до уровня нижнего диска.

Усовершенствованное БЗУ имеет целый ряд достоинств и преимуществ: исключает повреждение заготовок, позволяет загружать цилиндрические и сложные ступенчатые заготовки различного диаметра, обеспечивает более стабильное переориентирование на ножевых опорах за счет однородного регулируемого зазора между буртиком нижнего диска ступенчатой формы и вращающимся диском с ножевыми опорами.

Усовершенствованное БЗУ состоит из наклонного бункера, образованного обечайкой, установленной на нижнем неподвижном диске с буртиком. В бункере также имеется вращающийся диск, у которого по окружности расположены тангенциальные карманы и внутренние радиально расположенные карманы с ножевыми опорами. Вращающийся диск лежит на регулируемых опорных роликах, установленных на наружной поверхности нижнего неподвижного диска. В верхней части бункера вырезано окно. На наружной поверхности вращающегося диска расположены лопатки для ворошения заготовок. На некотором удалении от верхней части бункера находится ступенька, образованная буртиком и нижним неподвижным диском. Заготовки, засыпанные в бункер ворошатся лопатками, западают в тангенциальные карманы и при вращении диска перемещаются в верхнюю часть бункера. Скользя по буртику, заготовки сваливаются со ступеньки и, благодаря тому, что центр тяжести ее смещен относительно середины, западают опрокидываясь требуемым торцом в один из радиально расположенных внутренних карманов или, если этого не происходит, попадают на ножевые опоры и уже в верхней части бункера заготовки опрокидываются на опоре и западают в один из внутренних карманов. Для того чтобы заготовки могли легко поворачиваться, в зоне ориентации в стенке бункера сделано окно. При следующем обороте диска ориентированная заготовка через вырез в нижнем неподвижном диске, выкатывается в выдающий лоток.

Для переналадки БЗУ под заготовки с другим типоразмером необходимо отрегулировать зазор, образованный вращающимся диском и нижним неподвижным диском с буртиком, изменяя вылет опорных роликов в диапазоне $t_{\min} \dots t_{\max}$.

Во время работы БЗУ из-за особенностей технологического процесса и истирания поверхностей устройства образуется мусор в виде металлической стружки с различного рода включениями, который может налипать на рабочие органы устройств и негативно влиять на переориентирование заготовок.

Для автоматического удаления мусора в бункере и нижнем неподвижном диске выполнены технологические отверстия, как показано на рис. 3; а на рис. 4 представлена иллюстрация западания в карманы различных видов гильз.

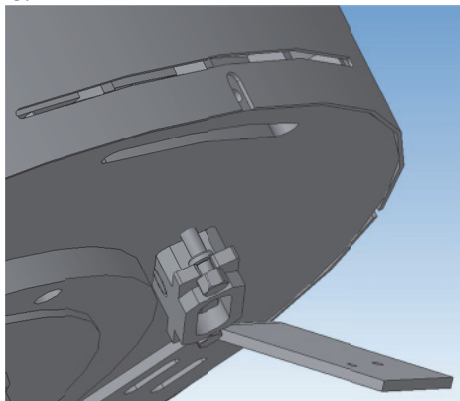


Рис. 3. Технологические отверстия для удаления мусора в нижней части бункера

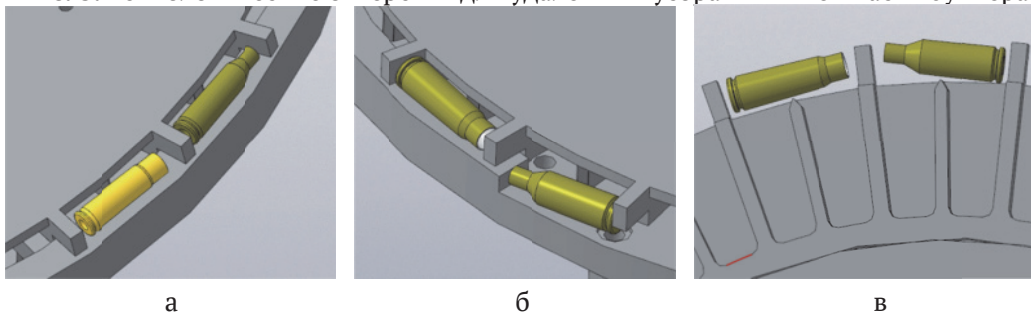


Рис. 4. Фрагменты вращающегося диска и ступенчатого кольца, в котором расположены заготовки перед переориентированием (а, б) и запавшие в радиальный карман (в)

На рис. 5, а, б изображены положения во внутреннем кармане запавших заготовок, отличающихся диаметром меньшего торца, соответственно без регулировки зазора и после регулировки зазора. Видно, что при отсутствии регулировки заготовки имеют возможность провалиться в зазор Δt между вращающимся диском и ступенчатым кольцом, что может привести к заклиниванию устройства или повреждению заготовки. На усовершенствованной конструкции после регулировки зазора, как показано на рис. 5, б такой недостаток отсутствует.

Наладка усовершенствованного БЗУ в зависимости от диаметра заготовки производится путем регулировки высоты H_1 и H_2 тангенциальных и внутренних радиальных карманов с помощью регулировочных винтов, которыми крепятся опорные ролики в диапазоне от $H_{\min}$ до $H_{\max}$ (рис. 6). При этом минимальная высота $H_{1\min}$ тангенциального кармана определяется диаметром большего торца заготовки, так, чтобы запавшая заготовка была на заподлицо с вращающимся диском, чтобы исключить сопровождение двух заготовок к сваливанию в карман. Максимальная высота $H_{1\max}$ тангенциального кармана определяется максимально возможным ходом регулировочных винтов и величиной зазора Δt , чтобы обеспечить удержание и сопровождение заготовки тангенциальным карманом и исключить поворот и проникновения с последующим заклиниванием меньшего торца под вращающийся диск.

Таким образом, данное решение позволяет расширить технические возможности БЗУ с тангенциально расположенными органами захвата при загрузке стержневых ступенчатых заготовок различного диаметра путем регулировки высоты карманов и зазора по высоте, что также позволит устранить заклинивание заготовок при сопровождении к ножевым опорам и исключить захват нескольких заготовок одним карманом и тем самым повысить стабильность работы устройства [10], а возможность переориентирования заготовок позволяет существенно увеличить производительность БЗУ [11].

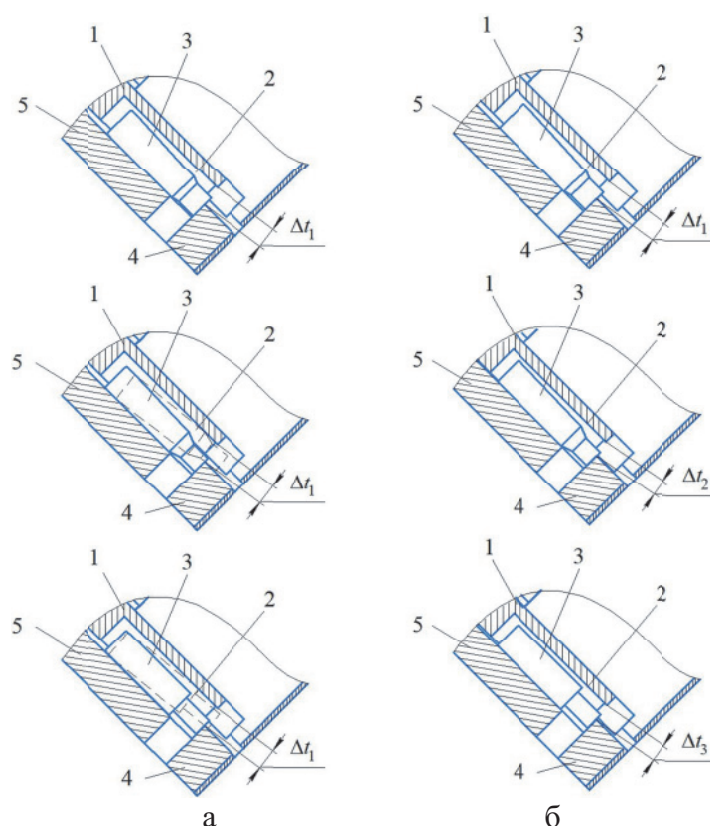


Рис. 5. Влияние зазора между ступенчатым кольцом и вращающимся диском на сохранность заготовки без (а) и с (б) регулировкой зазора Δt :

1 – вращающийся диск; 2 – внутренний карман; 3 – заготовки;
4 – буртик; 5 – нижний неподвижный диск

В усовершенствованном регулируемом БЗУ с тангенциально расположенными органами захвата предложена новая форма буртика. Изменения заключаются в изменении угла схода β , заканчивающегося ступенькой. Благодаря этому заготовки дестабилизируются и западают нужным торцом во внутренние карманы во время сваливания со ступеньки буртика и, при необходимости, заканчивают ориентироваться на ножевых опорах (рис. 7, б). В классической конструкции заготовка плавно сползала к ножевым опорам (под углом $\beta_1 = 20^\circ$) и затем переориентировалась, но при этом она могла находиться в уравновешенном состоянии, как показывала практика эксплуатации БЗУ, что нарушало процесс (рис. 7, а).

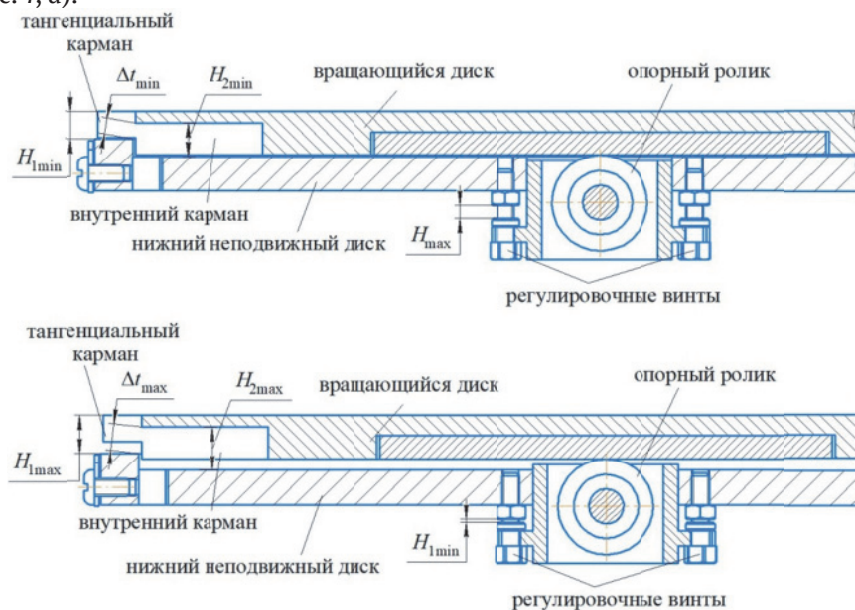


Рис. 6. Схема регулировки зазора и высоты карманов H_1 и H_2

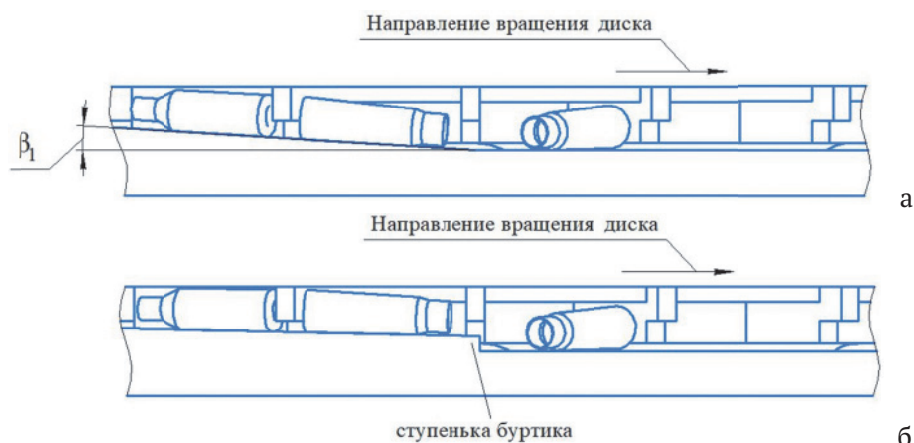


Рис. 7. Профиль буртика у классического (а) и усовершенствованного (б) дисковых БЗУ с тангенциально расположенными органами захвата

Усовершенствованное БЗУ может быть использовано для автоматической загрузки заготовок с $b \geq l / d_1 \geq 3$ различных диаметров большего или меньшего торцов в пределах регулировки вылета опорных роликов, зависящей от размеров заготовок, ограниченных шириной и длиной тангенциальных и внутренних карманов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенное усовершенствованное универсальное БЗУ с наклонным диском и тангенциальными карманами в процессе активного ориентирования ступенчатых заготовок способствует снижению числа деформированных при ворошении в бункере заготовок, которые могут многократно захватываться и сбрасываться при их неправильном захвате обратно в общую массу, повышению вероятности захвата заготовок и тем самым увеличению производительности БЗУ. Усовершенствованное БЗУ имеет возможность регулировки с помощью опорных роликов в некотором диапазоне высоты тангенциального кармана под разные диаметры заготовок, имеющих схожую длину, что позволяет существенно снизить затраты при проектировании БЗУ и сократить сроки при переналадке. Замена плавного перехода заготовок из кармана в зону ориентирования резким переходом путем ступеньки на буртике способствует более надежному ориентированию путем быстрой дестабилизации заготовок. БЗУ позволяет ориентировать цилиндрические и сложные ступенчатые заготовки, длина которых в 3–6 раз превышает наибольший диаметр. Для обеспечения его стабильного функционирования и повышения производительности необходимо разработать конструктивные ограничения на рабочие органы универсального БЗУ и оценить условия его стабильного функционирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Давыдова, Е.В. Механические бункерные загрузочные устройства в пищевой промышленности: под науч. ред. В.В. Прейса / Е.В. Давыдова, В.В. Прейс. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. – 168 с.
3. Давыдова, Е.В. Автоматическая загрузка стержневых предметов обработки с неявно выраженной асимметрией по торцам / Е.В. Давыдова, В.В. Прейс. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2009. – 112 с.
4. Кошкин, Л.Н. Роторные и роторно-конвейерные линии: 3-е изд. перераб. и доп. / Л.Н. Кошкин. – М.: Машиностроение, 1991. – 400 с.
5. 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.
6. 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.
7. Пантюхина, Е.В. Механические бункерные загрузочные устройства для элементов патронов стрелкового оружия с неявной асимметрией / Е.В. Пантюхина, В.В. Прейс // Инновационные технологии и технические средства специального назначения: тр. XII общероссийской научно-практической конференции: в 3 т. Сер. «Библиотека журнала «ВОЕНМЕХ. Вестник БГТУ». – Санкт-Петербург. – 2020. – С. 79–85.
8. 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.

9. Малов, А.Н. Загрузочные устройства для металлорежущих станков / А.Н. Малов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1972. – 400 с.
10. 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.
11. 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.

DEVELOPMENT OF DESIGN OF MECHANICAL HOPPER FEEDING-ORIENTING DEVICE WITH INCLINED DISK AND TANGENTIAL POCKETS FOR ROD STEPPED BILLETS

© 2025 E.V. Pantyukhina¹, S.A. Vasin¹, A.A. Borisov², A.A. Malikov¹

¹ Tula State University, Tula, Russia

² FSBI «3 CRI of the Ministry of Defense of the RF», Moscow, Russia

The article describes the systems for automatic feeding of various process equipment of mass production with piece blanks in the required oriented position on the basis of mechanical disk hopper feeding and orientation devices. Developed design of universal hopper feeding-orienting device with inclined rotating disk and tangentially located gripping members for rod cylindrical and complex shaped stepped blanks is considered. Peculiarities of operation of the device and its adjustment with the help of support rollers for different diameters of rod stepped billets having similar length are presented, which makes it possible to significantly reduce costs during design and to reduce duration of readjustment. Proposed device in process of active orientation of blanks contributes to reduction of number of blanks deformed at stirring in hopper, which can be repeatedly gripped and dropped at their incorrect gripping back into common mass, increase of probability of blanks gripping to increase feed rate of device.

Keywords: hopper feeding-orienting device with tangential pockets, active orientation, rod stepped workpieces, universal feeding device.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-3-156-162

EDN: RTPUZE

REFERENCES

1. Davy`dova, E.V. Teoreticheskie osnovy` proektirovaniya mexanicheskix diskovy`x bunkerny`x zagruzochny`x ustrojstv / E.V. Davy`dova, V.V. Prejs // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2013. – № 7–1. – P. 10–20.
2. Davy`dova, E.V. Mexanicheskie bunkerny`e zagruzochny`e ustrojstva v pishhevoj promy`shlennosti / E.V. Davy`dova, V.V. Prejs. – Tula: Izd-vo TulGU, 2012. – 164 p.
3. Davy`dova, E.V. Avtomaticheskaya zagruzka sterzhnevny`x predmetov ob-rabotki s neyavno vy`razhennoj asimmetriey po torcam / E.V. Davy`dova, V.V. Prejs. – Tula: Izd-vo TulGU, 2009. – 112 p.
4. Koshkin, L.N. Rotorny`e i rotorno-konveyerny`e linii: 3-e izd. pe-rerab. i dop. / L.N. Koshkin. – M.: Mashinostroenie, 1991. – 400 p.
5. Usenko, N.A. Sistemy` avtomaticheskoy zagruzki shtuchny`x predmetov obrabotki v texnologicheskie mashiny`-avtomaty` / N.A. Usenko, V.V. Prejs, E.V. Davy`dova, E.S. Bocharova. Pod red. prof. V.V. Prejsa. – Tula: Izd-vo TulGU. – 2013. – 310 p.
6. Vasin, S.A. Osnovnye napravleniya proektirovaniya mekhanicheskix diskovyh bunkernykh zagruzochnykh ustrojstv dlya asimmetrichnykh detalej formy tel vrashcheniya / S.A. Vasin, E.V. Pantyuhina // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya. – 2023. – № 1. – PP. 8–15.
7. Pantyuhina, E.V. Mekhanicheskie bunkernye zagruzochnye ustrojstva dlya elementov patronov strelkovogo oruzhiya s neyavnoj asimmetriey / E.V. Pantyuhina, V.V. Prejs // Innovacionnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva special'nogo naznacheniya: tr. XII obshcherossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii: v 3 t. Ser. «Biblioteka zhurnala «VOENMEKH. Vestnik BGTU». – Sankt-Peterburg. – 2020. – p.79–85.
8. Pantyuhina, E.V. Sravnitel'ny`j analiz proizvoditel'nosti mexanicheskix diskovy`x bunkerny`x zagruzochny`x ustrojstv pri aktivnom i passivnom sposobax orientirovaniya asimmetrichny`x detalej / E.V. Pantyuhina, I.V. Puzikov // V sbornike: Mexanika, oborudovanie, materialy` i tekhnologii. E`lektronny`j sbornik nauchny`x statej po materialam shestoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Krasnodar, 2024. – S. 157–165.
9. Malov, A.N. Zagruzochny`e ustrojstva dlya metallorezhushhix stankov / A.N. Malov. 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie, 1972. – 400 s.
10. Pantyuhina, E.V. Obespechenie nadezhnogo orientirovaniya asimmetrichny`x detalej formy` tel vrashheniya v diskovy`x bunkerny`x zagruzochno-orientiruyushhix ustrojstvax / E.V. Pantyuhina, S.A. Vasin, O.V. Pantyuhin // Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova. – 2024. – Т. 22. – №1. – С. 132–142.
11. Pantyuhina, E.V. Povy`shenie nadezhnosti i proizvoditel'nosti diskovy`x bunkerny`x zagruzochno-orientiruyushhix ustrojstv dlya asimmetrichny`x detalej tel vrashheniya / E.V. Pantyuhina, S.A. Vasin, S.N. Shevchenko, S.A. Lukin // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – Т. 26. – № 2. – 2024. – С. 110–116.

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 Borisov, Chief of Laboratory. E-mail: boris912@mail.ru

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