

УДК 621.9.06

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ ДИСКОВЫХ БУНКЕРНЫХ ЗАГРУЗОЧНО-ОРИЕНТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ© 2024 Е.В. Пантюхина¹, С.А. Васин¹, С.Н. Шевченко², А.А. Борисов³¹Тулский государственный университет, г. Тула, Россия²Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, г. Самара, Россия³ФГБУ «3 ЦНИИ» Минобороны России, г. Москва, Россия

Статья поступила в редакцию 05.06.2024

В статье рассматриваются основные факторы, влияющие на производительность механических дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройств для штучных предметов различных форм. Определены с использованием теории вероятности основные параметры загружаемых предметов и механического дискового карманчикового бункерного загрузочно-ориентирующего устройства и оценена степень их влияния на вероятность захвата предметов. Проведена комплексная оценка производительности с использованием математических моделей, построенных с использованием теории вероятности. Представлена визуализация математических моделей производительности механического дискового карманчикового бункерного загрузочно-ориентирующего устройства в виде графиков ее зависимостей от основных параметров. Представлены и проанализированы факторы, влияние которых на производительность механических дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройств было оценено экспериментальным путем.

Ключевые слова: бункерное загрузочно-ориентирующее устройство, производительность, ориентирование штучных изделий, вероятность захвата предметов.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-3-99-104

EDN: IPSERJ

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 выше 200 шт./мин [1].

Автоматическую загрузку штучных предметов различных форм осуществляют различ-

Пантюхина Елена Викторовна, доктор технических наук, доцент, доцент 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

Шевченко Сергей Николаевич, академик РАН, директор. E-mail: samniish@mail.ru

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

ные 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 [2]. Для автоматической загрузки различных типов машин, в том числе роторных, широко используются стационарные системы загрузки, основной частью которых является механическое бункерное загрузочно-ориентирующее устройство (БЗУ). Наибольшее распространение из механических БЗУ получили дисковые БЗУ, в основе работы которых лежит вероятностный принцип захвата предмета из общей массы захватывающими органами преимущественно в форме карманов, ориентирование предмета с помощью специальной конфигурации карманов, как правило, по форме предметов, или дополнительных конструктивных элементов, расположенных в верхней части устройства, и последующая выдача ориентированных предметов в накопительное устройство системы автоматической загрузки [3].

В связи с вероятностным принципом работы производительность БЗУ не является постоянной величиной в отличие от производительности технологических машин и оборудования, и определяется целым рядом конструктивно-технологических факторов, исследованием кото-

рых занимались и продолжают заниматься отечественные и зарубежные ученые [4]. Поэтому для определения производительности БЗУ используют выражение

$$\Pi = \Pi_T \eta,$$

где Π_T – теоретическая (максимально возможная) производительность БЗУ, определяемая как произведение числа захватывающих органов (карманов) k и частоты их вращения n ; η – вероятность захвата изделий захватывающими органами БЗУ [5].

Основными целями данных исследований является прогнозирование фактической производительности БЗУ на ранних этапах проектирования для оценки их работоспособности и оптимизации конструктивных и кинематических параметров БЗУ, что, в конечном счете, будет способствовать повышению производительности.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ДЛЯ ОПИСАНИЯ И ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Концепция для теоретического определения вероятности захвата η штучных предметов захватывающими органами механических дисковых БЗУ была описана в работах [6, 7]. Согласно данной концепции вероятность захвата представляет собой произведение вероятностей

$$\eta = P_i P_c P_v, \quad (1)$$

где P_i , P_c , P_v – вероятности, характеризующие соответственно благоприятное положение предмета для его захвата, отсутствие помех от сцепляемости предметов друг с другом, отсутствие помех со стороны окружной скорости органов захвата v , при этом P_v равна

$$P_v = 1 - \frac{v^4}{v_{\text{пред}}^4}, \quad (2)$$

в котором $v_{\text{пред}}$ – предельное значение окружной скорости, при которых в карман не успеет запасть ни один предмет.

Вероятность P_i позволяет оценить влияние на производительность БЗУ геометрических параметров предметов (наибольшего d_1 и наименьшего d_2 диаметров каждого из торцов, общей длины l предмета и длин l_1 и l_2 его составных частей, координаты центра масс x_c , диаметра и длин внутренних полостей при их наличии), угла наклона бункера α , коэффициента трения μ между предметами и конструктивными элементами БЗУ, размер B захватывающего органа, по которому осуществляется захват предметов, радиус R вращающегося диска БЗУ в зоне расположения органов захвата. С помощью вероятности P_i также оценивается влияние на производительность БЗУ таких факторов как

количество положений, занимаемых предметом на вращающемся диске, из которых возможно приведение его в требуемое ориентированное положение, возможности поворота предмета на вращающемся диске к захватывающему органу той из его сторон, которой будет обеспечен захват предмета в требуемом положении. Кроме этого при захвате предмета учитываются все силы, действующие на предмет в момент его начального движения в захватывающий орган БЗУ. Построив с использованием предложенной концепции математические модели вероятности захвата, проведем оценку влияния на производительность всех параметров модели и всех факторов, которые необходимо учитывать при ее построении.

На рис. 1 показаны графики, визуализирующие влияние перечисленных параметров на вероятность P_i и, следовательно, вероятность захвата и производительность БЗУ, на примере дискового карманчикового БЗУ для цилиндрических деталей с коническим торцом. В рассматриваемом БЗУ ориентирование основано на явном смещении центра масс относительно середины предмета, при котором захваченные карманом в неправильном положении предметы выпадают под действием силы тяжести обратно в зону захвата [8].

Графики, приведенные на рис. 1 показывают, что при увеличении зазора Δ в 1,5-3 раза вероятность P_i увеличивается в зависимости от μ на 13-35%. Чем больше соотношение длины предмета к его наибольшему диаметру, тем больше вероятность P_i ; при этом разница в значении вероятности P_i при $a = 2$ и $a = 4$ составляет от 11,5 до 45,5%. Угол наклона бункера α оказывает существенное влияние на вероятность P_i и, следовательно, производительность БЗУ; при этом при малых значениях коэффициента трения $\mu = 0,2$ разница находится в пределах 16,3-40%, а при последующем увеличении коэффициента трения для некоторых значений угла α снижается до 0.

Вероятность P_c позволяет оценить влияние на производительность БЗУ геометрических параметров предметов и коэффициента трения μ_0 между предметами при их взаимосцепляемости [9]. На рис. 2 показаны графики, визуализирующие влияние перечисленных параметров на вероятность P_c на примере дискового карманчикового БЗУ.

При увеличении соотношения длины наибольшего по диаметру торца предмета к его общей длине вероятность P_c снижается в зависимости от μ_0 на 0,2-1,1%. Менее существенное влияние на вероятность P_c оказывает соотношение a , при увеличении которого вероятность P_c увеличивается в зависимости от μ_0 на 0,1-0,8%.

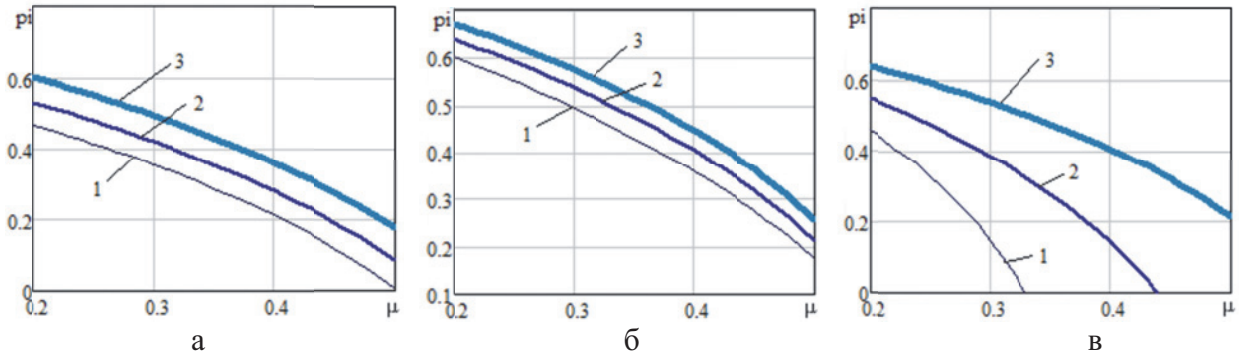


Рис. 1. Визуализация степени влияния различных факторов на вероятность p_i :

а – зазора между карманом и находящемся в нем предметом (1 – $\Delta = 0,1d_1$, 2 – $\Delta = 0,2d_1$, 3 – $\Delta = 0,3d_1$);
 б – соотношения общей длины предмета к его наибольшему диаметру (1 – $a = 2$, 2 – $a = 3$, 3 – $a = 4$);
 в – угла наклона основания бункера (1 – $\alpha = 20^\circ$, 2 – $\alpha = 25^\circ$, 3 – $\alpha = 30^\circ$)

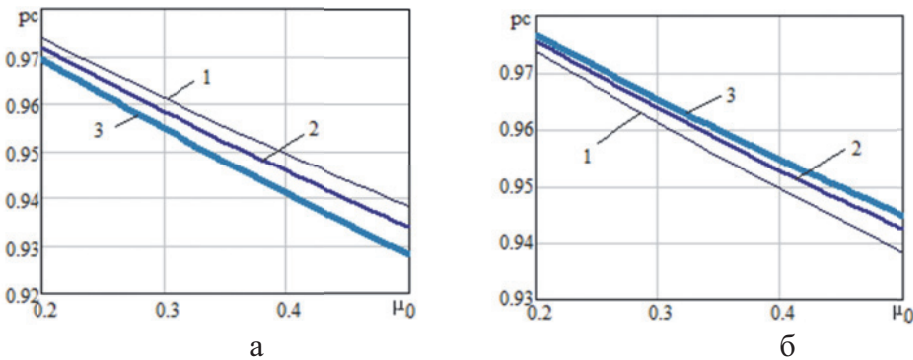


Рис. 2. Визуализация степени влияния различных факторов на вероятность p_c :

а – соотношения длины наибольшего по диаметру торца предмета к его общей длине

$$(1 - f = \frac{4}{8}, 2 - f = \frac{5}{8}, 3 - f = \frac{7}{8});$$

б – соотношения общей длины предмета к его наибольшему диаметру (1 – $a = 2$, 2 – $a = 3$, 3 – $a = 4$)

Вероятность p_v учитывает влияние на производительность БЗУ фактической окружной скорости органов захвата и конструктивных параметров БЗУ (размеры органов захвата, радиальных пазов, зубьев и других частей вращающегося диска, участвующих в подготовке к захвату предметов, угла наклона бункера α), а также геометрических параметров загружаемых предметов.

На рис. 3 показаны графики, визуализирующие влияние перечисленных параметров на вероятность p_v на примере дискового карманчикового наклонного БЗУ.

При значениях окружной скорости органов захвата от 0 до 0,2 м/с вероятность p_v остается практически постоянной и равной 1 при любых значениях f и a . В дальнейшем вероятность

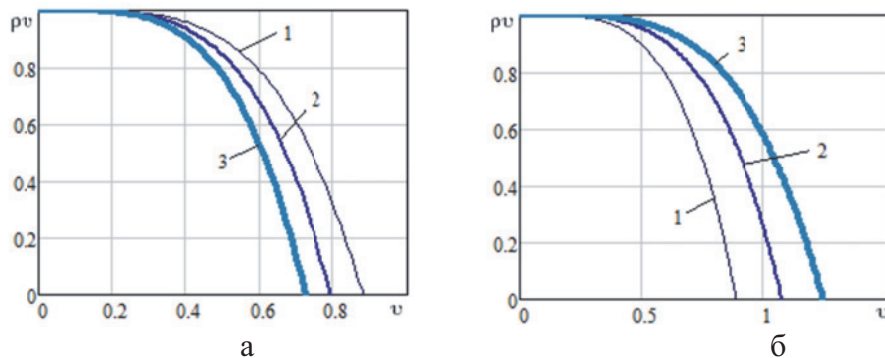


Рис. 3. Визуализация степени влияния различных факторов на вероятность p_v от окружной скорости органов захвата (м/с) и:

а – соотношения длины наибольшего по диаметру торца предмета к его общей длине

$$(1 - f = \frac{4}{8}, 2 - f = \frac{6}{8}, 3 - f = \frac{7}{8});$$

б – соотношения общей длины предмета к его наибольшему диаметру (1 – $a = 2$, 2 – $a = 3$, 3 – $a = 4$)

P_v при максимально возможной v и увеличении исследуемых параметров снижается до нуля. Значения $v_{пред}$ в зависимости от соотношения длины наибольшего по диаметру торца предмета к его общей длине составляет от 0,72 до 0,88 м/с, а в зависимости от соотношения общей длины предмета к его наибольшему диаметру – от 0,88-1,24 м/с.

На рис. 4 представлены результаты комплексной оценки производительности БЗУ от различных факторов. Графики показывают степень влияния каждого из рассматриваемых параметров, позволяют оценить, при каких параметрах производительность БЗУ будет максимальна, и обеспечить тем самым требуемые параметры БЗУ при конструировании. Так, например, если в рассматриваемом БЗУ принять весь комплекс мер для повышения его производительности, то для детали с $f = \frac{4}{8}$ и $\mu_0 = 0,4$ в зависимости от a получим $\Pi = 360...600$ шт./мин.

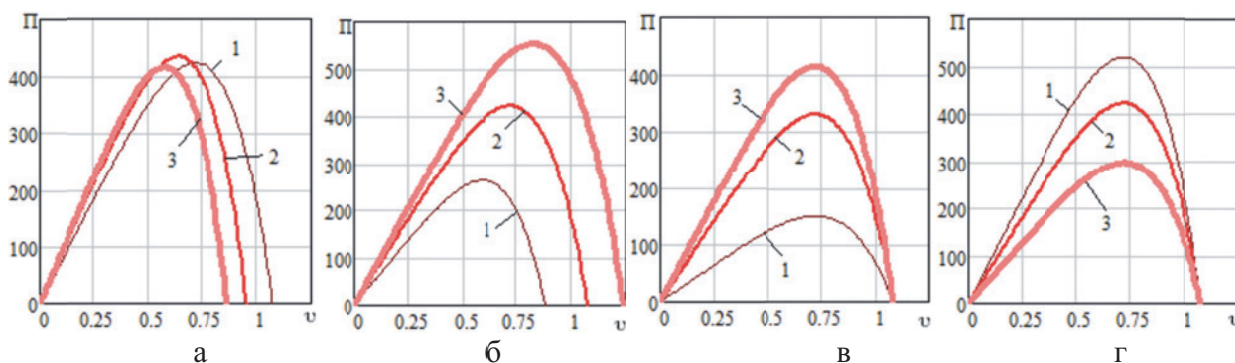


Рис. 4. Результаты комплексной оценки производительности (шт./мин) БЗУ

с использованием теории вероятностей от окружной скорости органов захвата (м/с) и:

- а – зазора между карманом и находящемся в нем предметом (1 – $\Delta = 0,1d_1$, 2 – $\Delta = 0,2d_1$, 3 – $\Delta = 0,3d_1$);
- б – соотношением общей длины предмета к его наибольшему диаметру (1 – $a = 2$, 2 – $a = 3$, 3 – $a = 4$);
- в – угла наклона основания бункера (1 – $\alpha = 20^\circ$, 2 – $\alpha = 25^\circ$, 3 – $\alpha = 30^\circ$);
- г – коэффициента трения между предметами и элементами БЗУ (1 – $\mu = 0,2$, 2 – $\mu = 0,3$, 3 – $\mu = 0,4$)

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Самые многочисленные эксперименты для оценки производительности различных типов механических БЗУ для широкой номенклатуры загружаемых предметов были проведены В.Ф. Прейсом и опубликованы в его научных трудах, основным из которых является монография [11]. Коэффициент η был найден автором экспериментально и определялся как отношение количества выданных в единицу времени предметов к производительности Π_T и, в связи с этим, был назван коэффициентом выдачи.

Обобщением всех проведенных экспериментов стала полученная автором эмпирическая зави-

симость для описания коэффициента выдачи в зависимости от окружной скорости органов захвата – $\eta = a - b \cdot v^4$. Экспериментальные выражения коэффициента выдачи можно достоверно использовать только для расчета вероятности захвата и производительности БЗУ полностью идентичных конструкций и загружаемых ими предметов. Для схожих, но отличающихся по геометрическим размерам или другим параметрам БЗУ и предметов, использовать полученные эмпирические выражения можно лишь для приближенной оценки.

Данная зависимость коэффициента выдачи, преобразованная к выражениям (1) и (2), была использована и в новой концепции для описания влияния на производительность БЗУ окружной скорости органов захвата [6, 7], но коэффициенты a и b были получены теоретически с использованием теории вероятностей.

В работе [10] В.Ф. Прейсом экспериментально были происследованы многие факторы, влияющие на производительность БЗУ.

Экспериментами была установлена степень влияния заполнения бункера предметами на производительность БЗУ с радиальными карманами, показавшая, что производительность БЗУ достигает максимальных значений при заполнении бункера на 6/7 его объема (рис. 5, а).

В результате экспериментов по определению влияния разбрасывателей на производительность дискового наклонного БЗУ было получено, что максимальная производительность БЗУ достигается при использовании диска-разбрасывателя (1) и несколько меньшая при разбрасывателе, выполненном в виде стрелки (2). Производительность без разбрасывателя минимальна и составляет около 1/3 от вариантов (1) и (2) (рис. 5, б).

В.Ф. Прейсом также была проведена оценка влияния на производительность БЗУ с зубьями конструкции приемника. Было рассмотрено 3 ва-

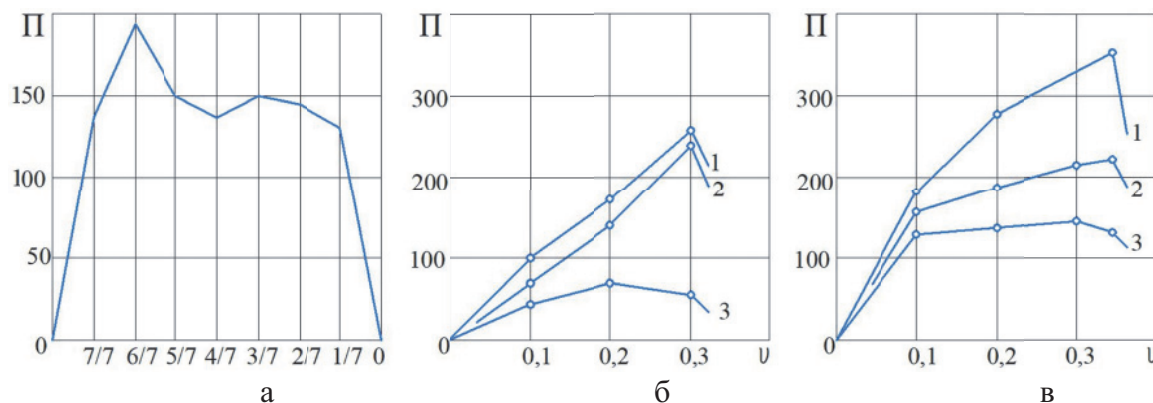


Рис. 5. Результаты экспериментальной оценки факторов, влияющих на производительность БЗУ, представленные в работах В.Ф. Прейса: а – степень заполнения бункера; б – тип разбрасывателя; в – тип приемника

рианта конструктивных решений: без приемника (1), с приемником, ось которого непрерывная кривая линия (2), и с приемником, ось которого ломаная линия (3) (рис. 5, в). Было получено, что при окружных скоростях органов захват до 0,1 м/с конструкция приемника практически не влияет на производительность БЗУ. При окружных скоростях свыше 0,1 м/с сначала производительность БЗУ увеличивается (при этом без приемника менее интенсивно, чем с приёмником, а при непрерывной кривой линии менее выражено, чем при ломаной линии оси приемника), а после некоторых значений начинает снижаться. Таким образом, выбор правильной траектории выдачи предметов из БЗУ также может привести к повышению его производительности [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на производительность механических БЗУ влияет целый ряд параметров и факторов, большая часть которых оцениваются при разработке математических моделей вероятности захвата и производительности БЗУ и их теоретическом исследовании. Некоторые параметры, которые не входят в теоретически построенные математические модели производительности, но оказывают не менее значительное влияние на ее значения, должны также учитываться при построении математических моделей как путем введения в математические модели новых вероятностей, описывающих влияние не учтенных факторов, так и путем проведения экспериментальных исследований и построения на их основе регрессионных моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астраханцев, А.Г. Гравитационные ориентаторы в роторных системах автоматической загрузки технологических роторных машин / А.Г. Астраханцев, Е.В. Давыдова, В.А. Крюков, И.Н. Пахомов, В.В. Прейс. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. – 184 с.

2. Пахомов, И.Н. Гравитационные ориентаторы с маятниковым I-образным захватом в роторных ориентирующих устройствах / И.Н. Пахомов, В.В. Прейс, Е.В. Давыдова, В.А. Крюков. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. – 100 с.

3. 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.

4. Пантюхина, Е.В. Теория механических бункерных загрузочных устройств для штучных предметов обработки в трудах тульской научной школы автоматизации (к 70-летию тульской научной школы автоматизации производственных процессов) / Е.В. Пантюхина, В.В. Прейс, Н.А. Усенко // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – № 12. – С. 460–465.

5. Давыдова, Е.В. Теоретические основы проектирования дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевым ориентатором / Е.В. Давыдова, В.В. Прейс // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2013. – № 7. – С. 8–14.

6. 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.

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. Пат. 158620 Российской Федерация. МПК В23Q 7/02. Бункерное загрузочное устройство для стержневых заготовок с цилиндрической формой одного из торцов и конической формой другого / В.В. Прейс, Е.В. Давыдова, Д.А. Провоторов, К.Н. Провоторова. – № 2014152435/02; заявл. 23.12.2014; опубл. 20.01.2016. Бюл. № 2.

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. Автоматизация загрузки прессов штучными заготовками / В.Ф. Прейс [и др.]; под ред. В.Ф. Прейса. – М.: Машиностроение, 1975. – 280 с.

INCREASED RELIABILITY AND EFFICIENCY OF DISK HOPPER FEEDING-ORIENTING DEVICES FOR ASYMMETRIC PARTS OF ROTATION BODIES

© 2024 E.V. Pantyukhina¹, S.A. Vasin¹, S.N. Shevchenko², A.A. Borisov³

¹ Tula State University, Tula, Russia

² Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Samara, Russia

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

The article discusses the main factors affecting the feed rate of mechanical disk hopper feeding and orienting devices for piece items of various shapes. Basic parameters of feeded objects and mechanical disk hopper feeding-orienting device with pockets are determined using probability theory and degree of their influence on probability of objects capture is estimated. A comprehensive assessment of feed rate was carried out using mathematical models built using probability theory. Visualization of mathematical models of feed rate of mechanical disk pocket hopper feeding-orienting device is presented in the form of graphs of its dependences on basic parameters. Factors are presented and analyzed, the influence of which on the feed rate of mechanical disk hopper feeding-orienting devices was obtained experimentally.

Keywords: hopper feeding-orienting device, feed rate, orientation of piece items, probability of gripping items.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-3-99-104

EDN: IPSERJ

REFERENCES

1. *Astrahancev, A.G.* Gravitacionnye orientatory v rotornykh sistemah avtomaticheskoy zagruzki tekhnologicheskikh rotornykh mashin / A.G. Astrahancev, E.V. Davydova, V.A. Kryukov, I.N. Pahomov, V.V. Prejs. – Tula: Izd-vo TulGU, 2016. – 184 p.
2. *Pahomov, I.N.* Gravitacionnye orientatory s mayatnikovym l-obraznym zahvatom v rotornykh orientiruyushchih ustroystvakh / I.N. Pahomov, V.V. Prejs, E.V. Davydova, V.A. Kryukov. – Tula: Izd-vo TulGU, 2013. – 100 p.
3. *Pantyukhina, E.V.* Mekhanicheskie bunkernye zagruzochnye ustroystva dlya elementov patronov strelkovogo oruzhiya s neyavnoj asimmetriey / E.V. Pantyukhina, V.V. Prejs // Innovacionnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva special'nogo naznacheniya: tr. XII obshcherossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferencii: v 3 t. Ser. «Biblioteka zhurnala «Voenmekh. Vestnik BGTU». – Sankt-Peterburg. – 2020. – pp.79–85.
4. *Pantyukhina, E.V.* Teoriya mekhanicheskikh bunkernykh zagruzochnykh ustroystv dlya shtuchnykh predmetov obrabotki v trudah tul'skoj nauchnoj shkoly avtomatizacii (k 70-letiyu tul'skoj nauchnoj shkoly avtomatizacii proizvodstvennykh processov) / E.V. Pantyukhina, V.V. Prejs, N.A. Usenko // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2018. – № 12. – pp. 460–465.
5. *Davydova, E.V.* Teoreticheskie osnovy proektirovaniya diskovogo zubchatogo bunkernogo zagruzochnogo ustroystva s kol'cevyim orientatorom / E.V. Davydova, V.V. Prejs // Sbornik mashinostroeniya, priborostroeniya. – 2015. – № 7. – pp. 8–14.
6. *Pantyukhina, E.V.* Metodologiya kompleksnogo podhoda dlya ocenki proizvoditel'nosti mekhanicheskikh diskovykh bunkernykh zagruzochnykh ustroystv / E.V. Pantyukhina // Materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferencii v g. Omsk; nauch. red. P.D. Balakin. – 2020. – S. 380–388.
7. *Vasin, S.A.* Metodika opredeleniya veroyatnosti zahvata asimmetrichnykh detalej formy tel vrashcheniya v diskovykh bunkernykh zagruzochno-orientiruyushchih ustroystvakh / S.A. Vasin, E.V. Pantyukhina // Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie. – 2023. – № 3. – pp. 64–88.
8. Pat. 158620 Rossijskaya Federaciya. MPK B23Q 7/02. Bunkernoe zagruzochnoe ustroystvo dlya sterzhnevnykh zagotovok s cilindricheskoy formoj odnogo iz torcov i konicheskoy formoj drugogo / V.V. Prejs, E.V. Davydova, D.A. Provotorov, K.N. Provotorova. – № 2014152435/02; zayavl. 23.12.2014; opubl. 20.01.2016. Byul. № 2.
9. *Pantyukhina, E.V.* Varianty rascheta veroyatnosti otsutstviya pomekh ot vzaimosceplyaemosti detalej pri zahvate / E.V. Pantyukhina, I.V. Puzikov // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2022. – № 8. – pp. 348–352.
10. *Avtomatizaciya zagruzki pressov shtuchnymi zagotovkami / V.F. Prejs [i dr.]; pod red. V.F. Prejsa. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 280 p.*

Elena Pantyukhina, Doctor of Technical, Associate Professor, Associate 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

Sergey Shevchenko, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director. E-mail: samniish@mail.ru

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