УДК 621.9.06

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БУНКЕРНОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА С ПАССИВНЫМ ОРИЕНТИРОВАНИЕМ АСИММЕТРИЧНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК

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

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

Статья поступила в редакцию 27.10.2026

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований вероятности захвата и производительности на натурном макете усовершенствованного универсального механического дискового бункерного загрузочно-ориентирующего устройства карманчикового типа с пассивным ориентированием для двух видов асимметричных цилиндрических заготовок с коническим переходом одного торца в другой. Представлены основные параметры разработанного на основе теоретических исследований натурного макета устройства, описан принцип его регулировки под каждый вид заготовки и особенности функционирования. Получены на основе разработанных математических моделей выражения для теоретического описания вероятности захвата и производительности макета усовершенствованного устройства и проведена их верификация с экспериментально полученными выражениями для каждого вида заготовок, показавшая адекватность и корректность теоретически полученных выражений. Подтверждено существенное повышение производительности устройства при разработке на ранних этапах проектирования математических моделей вероятности благоприятного захвата для выбора наиболее эффективного способа захвата и ориентирования.

Ключевые слова: бункерное загрузочное устройство, вероятность захвата, производительность загрузки, эксперименты по загрузке.

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-5-92-98
EDN: PSEHCY

ВВЕДЕНИЕ

Механические дисковые бункерные загрузочно-ориентирующие устройства (БЗУ) обеспечивают захват единичной заготовки из общей их массы в бункере на основе вероятностного принципа, вследствие чего определение их фактической производительности по классическим формулам не представляется возможным [1], поэтому в работах отечественных и зарубежных ученых всегда осуществлялся поиск и предлагались различные выражения для описания вероятности захвата заготовок в БЗУ [2 – 7], как полученные теоретическим, так и экспериментальным путем.

В последние десятилетия при описании фактической производительности БЗУ на ранних этапах проектирования, используется концепция, заложенная в работе [8], нашедшая продолжение в работах [9, 10] и применяемая уже при разработке новых усовершенствованных БЗУ для широкой номенклатуры асимметричных заготовок формы тел вращения [5].

В основе этой концепции лежит комплексный подход, позволяющий теоретически описать вероятность захвата заготовок и производительность БЗУ во взаимосвязи с их параметрами. К таким параметрам относятся геометрические размеры и форма заготовок, положение центра их масс, свойства поверхностей заготовок, коэффициент трения между заготовками, коэффициент трения между заготовками и рабочими органами БЗУ, окружная скорость органов захвата, конструктивные параметры БЗУ. Применение данной концепции позволяет с высокой до практики точностью теоретически спрогнозировать значения производительности БЗУ и определить параметры, при которых она будет достигать своих максимальных, или требуемых значений, что неоднократно подтверждено результатами экспериментальных исследований [9].

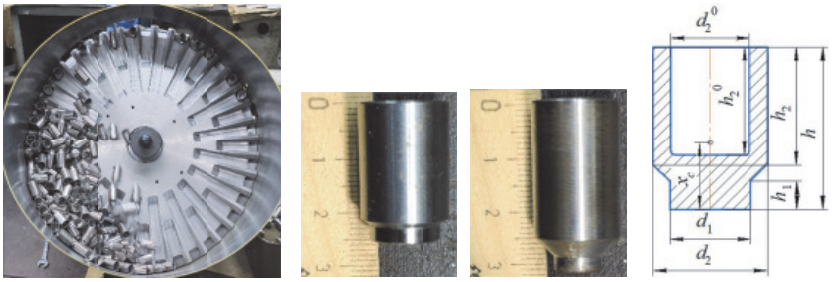
Проведенные исследования по поиску наиболее благоприятного способа захвата и ориентирования [10 – 12] позволили модернизировать БЗУ для полых по торцам асимметричных заготовок,

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

реализовав в нем пассивное ориентирование заготовок с захватом радиальными карманами в положении стоя, как наиболее эффективный способ из всех возможных [13]. Для оценки адекватности разработанных для него математических моделей вероятности захвата и производительности, а также оценки его возможностей по загрузке данного типа асимметричных заготовок, необходимо разработать макет и провести экспериментальные исследования.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАКЕТА БУНКЕРНОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА И АСИММЕТРИЧНЫХ ЗАГОТОВОК

Проведение экспериментальных исследований по оценке его максимальных возможностей и адекватности разработанных математических моделей вероятности захвата и производительности при загрузке асимметричных цилиндрических заготовок с коническим переходом одного торца в другой осуществлялось на натурном макете усовершенствованного БЗУ с пассивным ориентированием (рис. 1).



а б в г

Рис. 1. Макет усовершенствованного БЗУ спереди (а) для асимметричных заготовок с $h/d_2 = 1{,}5$ вид 1 (б) и $h/d_2 = 1{,}9$ (в) вид 2, а также размерами (г)

Заготовки имеют следующие одинаковые размеры: $d_2 = 0{,}016$ м; $h_1 = 0{,}003$ м; для заготовки вида 1: $d_2^0 = 0{,}0125$ м, $h_2^0 = 0{,}0135$ м, $d_1 = 0{,}013$ м, $h_2 = 0{,}02$ м; $h = 0{,}024$ м; для заготовки вида 2: $d_2^0 = 0{,}014$ м, $h_2^0 = 0{,}0205$ м, $d_1 = 0{,}009$ м, $h_2 = 0{,}024$ м; $h = 0{,}0305$ м.

Экспериментальный макет состоит из вращающегося диска с радиальными пазами и скосами, основания, к которому через пружины крепится кольцевой ориентатор с установленными на нем планкой и собачкой, и обечайка, образующая бункер. В обечайке в зоне установки собачки выполнено выдающее ориентированные заготовки окно.

Радиус вращающегося диска 0,228м; расположен под углом $\alpha_д = 45^\circ$. По периферии диска равномерно располагаются радиальные пазы, заканчивающиеся карманами в количестве 40 штук. Чтобы число карманов было максимально возможным, пазы имеют не одинаковую длину: по 20 длинных и коротких радиальных пазов. Высота радиальных пазов $h_п = 0{,}008$ м, принималась равной $0{,}5d_2$, чтобы все попавшие в них заготовки оставались в пазах и перемещались к карманам, а не выскакивали из пазов, в том числе при столкновении с остальными заготовками. От поверхности диска к дну радиального паза выполнен плавный переход с помощью фасок для беспрепятственного удаления при пассивном ориентировании из пазов неправильно запавших заготовок обратно в бункер.

На перемычках между радиальными пазами и карманами выполненные скосы, выполняющие функцию направления заготовки в карман и способствующие развороту заготовки нужным торцом в карман под действием силы тяжести, имеют длину $l_{ск} = 0{,}008$ м и угол 30°; расстояние между карманами $\delta = 2l_{ск} = 0{,}016$ м.

Длина и ширина карманов была выбрана на основе теоретического исследования разработанных математических моделей: наибольшая вероятность захвата обеспечивается при зазоре $\Delta = 0{,}25d_2$. Длина и ширина карманов $l_к = B = d_2 + \Delta = 0{,}02$ м, шаг $t = \delta + B = 0{,}036$ м. .

На обратной стороне вращающего диска выполнено опорное кольцо, которым диск упирается в опорные ролики. Кольцо, устанавливаемое на основании, имеет буртик высотой 0,008 м с секторным вырезом и отверстием для установки собачки и приведения ее в рабочее положение с помощью пружины. На кольце также выполнены пазы для установки планки и отверстия для шпилек и винтов. Планка на кольце крепится в верхней части с помощью трех потайных винтов и представляет собой сектор кольца с углом 60° прямоугольного сечения со скосами по торцам и кольцевой проточкой; угол начала установки планки начинается в 30° от вертикали. В обратную сторону кольца вварены шпильки для крепления к основанию пружинами.

Регулировка размеров кармана в зависимости от типа и вида заготовки происходит следующим образом. При закручивании винтов пружины сжимаются, кольцо в сборе опускается вниз, высота кар-

мана увеличивается и наоборот, что позволяет загружать полые по торцам асимметричные заготовки, отличающиеся отношением длины к наибольшему диаметру в диапазоне от 1,3 до 1,9. На макете был реализован диапазон регулировки кольца относительно основания от 4,4 мм до 9,1 мм (рабочий ход пружины), что достаточно, чтобы обеспечить высоту кармана в диапазоне 19,35мм до 26,3 мм.

Экспериментальные исследования производительности были проведены в следующей последовательности: теоретическое построение математических моделей вероятности захвата и производительности; проведение и обработка экспериментов на макете БЗУ; верификация теоретических моделей с использованием результатов эксперимента.

ПОСТРОЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВЕРОЯТНОСТИ ЗАХВАТА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Производительность БЗУ определяется произведением теоретической производительности $П_т$ и вероятности η захвата, зависящей от условий благоприятного захвата заготовки требуемым положением (вероятность p_i), взаимосцепляемости заготовок между собой (вероятность p_c) и окружной скорости υ органов захвата и ее предельного значения $\upsilon_{пред}$ (вероятность p_υ):

$$П = П_т\eta = p_i p_c p_\upsilon = p_i p_c \left(1 - \upsilon^4 \cdot \upsilon_{пред}^{-4}\right).$$

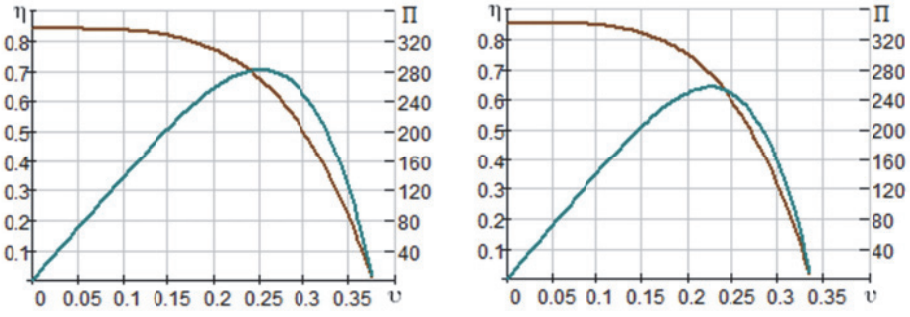
С использованием разработанных математических моделей вероятности захвата и производительности БЗУ [11 – 13] были получены для макета БЗУ и двух видов заготовок следующие математические описания в зависимости от окружной скорости υ:

$$\eta_1 = 0,839 \cdot (1 - 50,2\upsilon^4),$$
$$П_1 = П_т \cdot \eta_1 = \frac{60\upsilon}{0,036} \cdot \left[0,839 \cdot (1 - 50,2\upsilon^4)\right]; \quad (1)$$

$$\eta_2 = 0,854 \cdot (1 - 77,84\upsilon^4),$$
$$П_2 = П_т \cdot \eta_2 = \frac{60\upsilon}{0,036} \cdot \left[0,854 \cdot (1 - 77,84\upsilon^4)\right]. \quad (2)$$

При разработке выражений (1) и (2) были определены: коэффициенты трения между БЗУ и заготовками $\mu = 0,36$, а также между заготовками $\mu_0 = 0,35$; для сцепляющихся заготовок экспериментально был определен угол сцепляемости, равный 30,5°; значения предельных окружных скоростей $\upsilon_{пред1} = 0,376$ м/с, $\upsilon_{пред2} = 0,337$ м/с.

Графики визуализации математических моделей вероятности захвата и производительности экспериментального макета БЗУ для двух видов заготовок, представлены на рис. 2. По графикам видно, что максимальная теоретически полученная производительность модернизированного БЗУ составляет 280 шт./мин для заготовок вида 1 и 257 шт./мин для заготовок вида 2.



а б

Рис. 2. Визуализация теоретически построенных моделей вероятности захвата и производительности БЗУ для заготовок вида 1 (а) и 2 (б)

Экспериментальная часть на данном этапе исследования осуществлялась следующим образом. Вращение диска по часовой стрелке обеспечивал трехфазный асинхронный двигатель на 0,18 кВт, управляемый частотным преобразователем. Крутящий момент передавался через ременную передачу, редуктор и предохранительную муфту. Значения частоты вращения диска (окружной скорости карманов) для экспериментов: 2 об/мин (0,048 м/с), 3 об/мин (0,072 м/с), 4 об/мин (0,095 м/с), 5 об/мин (0,119 м/с), 5,5 об/мин (0,131 м/с), 6 об/мин (0,143 м/с), 6,5 об/мин (0,155 м/с), 7 об/мин (0,167

м/с), 7,5 об/мин (0,179 м/с), 8 об/мин (0,191 м/с). На каждом значении частоты вращения диска проводилось по 10 одинаковых опытов, что для данного случая считалось достаточным [14].

Результаты эксперимента были обработаны по известной методике [15] для каждого вида заготовки, были в автоматическом режиме рассчитаны окружная скорость карманов; теоретическая производительность; среднее ее арифметическое значение; вероятность захвата; среднее квадратическое отклонение; дисперсия среднего; коэффициенты вариации и асимметрии; доверительный интервал, осуществляется проверка по критерию Романовского.

На следующем этапе была проведена верификация теоретических исследований с экспериментальными.

ВЕРИФИКАЦИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

С помощью разработанной программы была проведена аппроксимация полученных в ходе эксперимента средних значений вероятности захвата и производительности и сопоставление их с полученными теоретически по выражениям (1) и (2) значениями: для заготовки вида 1 результаты сравнения представлены на рис. 3, а, б для вида 2 – на рис. 3, в, г.

На графиках синим цветом показаны аппроксимирующие кривые и экспериментально полученные значения в виде окружностей вероятности захвата и производительности, а зеленым – визуализация теоретически разработанных моделей. Для заготовок вида 1 максимальные значения производительности находятся в диапазоне 260…280 шт./мин, а для заготовок вида 2 – в диапазоне 240…256 шт./мин.

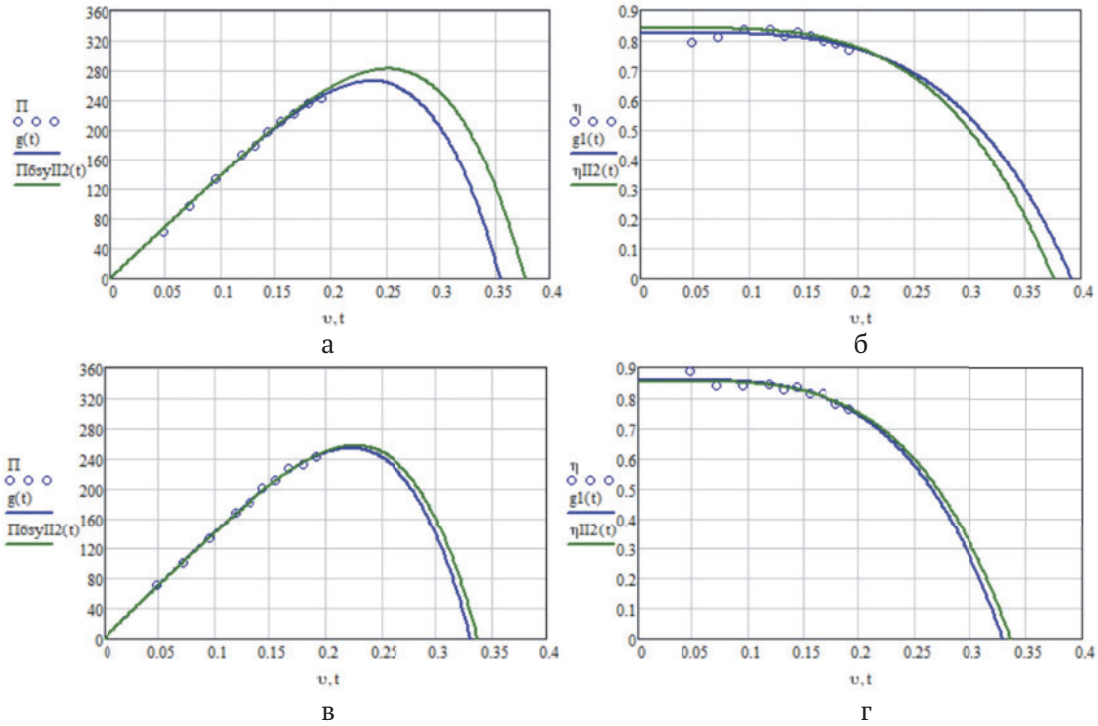
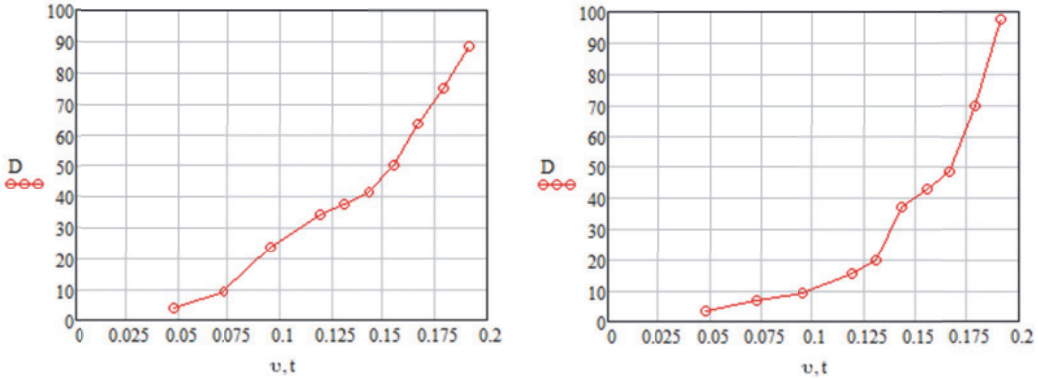


Рис. 3. Результаты аппроксимации экспериментальных данных и результаты сравнения с теоретически из разработанных математических моделей производительности (а, в) и вероятности захвата (б, г) для заготовок видов 2 (а) и (3)

На графиках рис. 4 показана дисперсия среднего значения производительности макета модернизированного БЗУ для каждой заготовки. Чем выше скорость, тем больше разброс значений относительно их среднего уровня, то есть колебания производительности. При этом значения дисперсии выше при больших значениях окружной скорости, и на графиках видно более плавное увеличение дисперсии на начальном диапазоне окружных скоростей.

Наилучшее соответствие теоретических значений производительности и экспериментальных наблюдается в диапазоне окружных скоростей от 0,01 до 0,19 м/с, что обусловлено возрастающими колебаниями при приближении к окружной скорости, при которой производительность максимальна. Для более стабильной и постоянной производительности рекомендуется вращать диск при окружной скорости, не превышающей 0,18 м/с, что позволит обеспечить производительность модернизированного БЗУ до 235 шт./мин для заготовок вида 1 и до 240 шт./мин для заготовок вида 2.



а б

Рис. 4. Дисперсия среднего значения производительности для заготовок видов 1 (а) и 2 (б)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты экспериментальных исследований на натурном макете усовершенствованного БЗУ для двух видов асимметричных заготовок с коническим переходом одного торца в другой показали следующее. Расчет отклонений экспериментальных значений вероятности захвата и производительности дискового модернизированного БЗУ со скосами и регулировкой показал, что максимальная разница производительности при окружных скоростях меньших на 10..15 % окружной скорости, при которой производительность БЗУ достигает своих наибольших значений, для заготовок 2 составила менее 1,1 %, а для заготовок 3 – 2,8...4,2 %.

Таким образом, сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований для всех видов заготовок показало, что графики вероятности захвата и производительности БЗУ практически совпадают, что свидетельствует о корректности и адекватности разработанных математических моделей. Взаимосцепляемые торцами заготовки имеют более низкую производительность, чем не сцепляемые торцами. Усовершенствованное БЗУ обладает достаточно высокой производительностью и обоснование вероятности благоприятного захвата с целью дальнейшей реализации в конструкции БЗУ наиболее эффективного способа захвата и ориентирования заготовок на ранних этапах проектирования оправдано и подтверждено результатами проведенного экспериментального исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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.
2. *Прейс В.Ф.* Автоматизация загрузки прессов штучными заготовками / В.Ф. Прейс [и др.]; под ред. В.Ф. Прейса. – М.: Машиностроение, 1975. – 280 с.
3. *Медвидь, М.В.* Автоматические ориентирующие загрузочные устройства / М.В. Медвидь. – М.: Машгиз, 1963. – 299 с.
4. *Дьякова, Э.В.* Анализ зарубежной научной литературы о системах автоматической загрузки штучных деталей / Э.В. Дьякова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 5. – С. 38-42.
5. *Бахно, А.Л.* Концептуальные подходы для математического описания вероятности захвата штучных заготовок в механических дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройствах / А.Л. Бахно // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2026. – № 4. – С. 240–250.
6. *Камышный, Н.И.* Автоматизация загрузки станков / Н.И. Камышный. – М.: Машиностроение, 1977. – 287 с.
7. *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.
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. *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.
10. *Богодяж, А.Е.* Этапы совершенствования бункерного загрузочного устройства с направляющими скосами и возможностью регулировки высоты карманов для полых по торцам асимметричных заготовок / А.Е. Богодяж, Е.В. Пантюхина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2026. – № 9. – С. 133–139.

11. *Богодяж, А.Е.* Теоретическое обоснование совершенствования бункерного загрузочного устройства для асимметричных заготовок на основе разработки математических моделей вероятности благоприятного захвата / А.Е. Богодяж, Е.В. Пантюхина, А.Л. Бахно, С.А. Васин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2026. – Т. 28. – № 4. – С. 63–69.
12. *Пантюхина, Е.В.* Сравнительный анализ вероятности благоприятного захвата асимметричных заготовок в бункерных загрузочных устройствах с различными способами захвата и ориентирования / Е.В. Пантюхина, А.Е. Богодяж, А.Л. Бахно, С.А. Васин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2026. – Т. 28. – № 4. – С. 100–105.
13. *Богодяж, А.Е.* Разработка бункерного загрузочного устройства для асимметричных заготовок на основе результатов теоретического исследования вероятности благоприятного захвата / А.Е. Богодяж, И.В. Пузиков, Е.В. Пантюхина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2026. – № 8. – С. 12 – 20.
14. *Бойко, А.Ф.* Точный метод расчета необходимого количества повторных опытов / А.Ф. Бойко, Е.Ю. Кудеников // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 8. – С. 128–132.
15. *Григорович, В.Г.* Информационно-статистические методы в технологии машиностроения: Пособие по обработке результатов эксперимента / В.Г. Григорович, В.Я. Кершенбаум, Д.А. Козочкин и др. – М.: ГУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2000. – 184 с.

EXPERIMENTAL PERFORMANCE STUDIES OF HOPPER FEEDER WITH PASSIVE ORIENTATION OF ASYMMETRIC CYLINDRICAL WORKPIECES

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

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

The article presents the results of experimental studies of the probability of gripping and feed rate on a full-scale model of an improved universal mechanical disk hopper feeding and orienting device of a pocket type with passive orientation for two types of asymmetric cylindrical workpieces with a conical transition of one end to another. The main parameters of the full-scale model of the device developed on the basis of theoretical studies are presented, the principle of its adjustment for each type of workpiece and the features of functioning are described. On the basis of developed mathematical models, expressions were obtained for theoretical description of the probability of capture and feed rate of the layout of the improved device, and their verification was carried out with experimentally obtained expressions for each type of workpieces, which showed the adequacy and correctness of the theoretically obtained expressions. A significant increase in device feed rate has been confirmed when developing early mathematical models of the probability of favorable capture to select the most efficient method of capture and orientation.
Keywords: hopper feeder, feed rate, feeding capacity, feeding experiments.

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-5-92-98
EDN: PSEHCY

REFERENCES

1. *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.
2. Prejs, V.F. Avtomatizaciya zagruzki pressov shtuchny`mi zagotovkami / V.F. Prejs [i dr.]; pod red. V.F. Prejsa. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 280 p.
3. *Medvid`, M.V.* Avtomaticheskie orientiruyushhie zagruzochny`e ustrojstva / M.V. Medvid`. – M.: Mashgiz, 1963. – 299 s.
4. *D`yakova, E`.V.* Analiz zarubezhnoj nauchnoj literatury` o sistemakh avtomaticheskoj zagruzki shtuchny`kh detalej / E`.V. D`yakova // Izvestiya Tul`skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2021. – № 5. – pp. 38-42.
5. *Bakhno, A.L.* Konceptual`ny`e podkhody` dlya matematicheskogo opisaniya veroyatnosti zakhvata shtuchny`kh zagotovok v mekhanicheskikh diskovy`kh bunkerny`kh zagruzochno-orientiruyushhikh ustrojstvakh / A.L. Bakhno // Izvestiya Tul`skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2026. – № 4. – pp. 240–250.
6. *Kamy`shny`j, N.I.* Avtomatizaciya zagruzki stankov / N.I. Kamy`shny`j. – M.: Mashinostroenie, 1977. – 287 p.
7. *Pantyukhina, E.V.* Nauchny`e osnovy` proektirovaniya mekhanicheskikh diskovy`kh bunkerny`kh zagruzochny`kh ustrojstv dlya detalej s neyavnoj asimmetriej po torczam / E.V. Pantyukhina, V.V. Prejs // Sovremenny`e tekhnologii sborki: materialy` VII Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo seminara. – M., 2021. – pp. 111–120.
8. *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.
9. *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.

10. *Bogodyazh, A.E.* E`tapy` sovershenstvovaniya bunkernogo zagruzochnogo ustrojstva s napravlyayushhimi skosami i vozmozhnost`yu regulirovki vy`soty` karmanov dlya poly`kh po torczam asimmetrichny`kh zagotovok / A.E. Bogodyazh, E.V. Pantyukhina // Izvestiya Tul`skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2026. – № 9. – pp. 133–139.
11. *Bogodyazh, A.E.* Teoreticheskoe obosnovanie sovershenstvovaniya bunkernogo zagruzochnogo ustrojstva dlya asimmetrichny`kh zagotovok na osnove razrabotki matematicheskikh modelej veroyatnosti blagopriyatnogo zakhvata / A.E. Bogodyazh, E.V. Pantyukhina, A.L. Bakhno, S.A. Vasin // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2026. – T. 28. – № 4. – pp. 63–69.
12. *Pantyukhina, E.V.* Sravnitel`ny`j analiz veroyatnosti blagopriyatnogo zakhvata asimmetrichny`kh zagotovok v bunkerny`kh zagruzochny`kh ustrojstvakh s razlichny`mi sposobami zakhvata i orientirovaniya / E.V. Pantyukhina, A.E. Bogodyazh, A.L. Bakhno, S.A. Vasin // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2026. – T. 28. – № 4. – pp. 100–105.
13. *Bogodyazh, A.E.* Razrabotka bunkernogo zagruzochnogo ustrojstva dlya asimmetrichny`kh zagotovok na osnove rezul`tatov teoreticheskogo issledovaniya veroyatnosti blagopriyatnogo zakhvata / A.E. Bogodyazh, I.V. Puzikov, E.V. Pantyukhina // Izvestiya Tul`skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2026. – № 8. – pp. 12 – 20.
14. *Bojko, A.F.* Tochny`j metod rascheta neobkhodimogo kolichestva povtorny`kh opy`tov / A.F. Bojko, E.Yu. Kudenikov // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. – 2016. – № 8. – pp. 128–132.
15. *Grigorovich, V.G.* Informacionno-statisticheskie metody` v tekhnologii mashinostroeniya: Posobie po obrabotke rezul`tatov e`ksperimenta / V.G. Grigorovich, V.Ya. Kershenbaum, D.A. Kozochkin i dr. – M.: GUP Izdatel`stvo «Neft` i gaz» RGU nefti i gaza im. I.M. Gubkina, 2000. – 184 p.

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