УДК 621.9.06

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО БУНКЕРНОГО ЗАГРУЗОЧНО-ОРИЕНТИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА С НАКЛОННЫМ ДИСКОМ И ТАНГЕНЦИАЛЬНЫМИ КАРМАНАМИ ДЛЯ СТЕРЖНЕВЫХ СТУПЕНЧАТЫХ ЗАГОТОВОК

© 2025 Е.В. Пантюхина[1], С.А. Васин[1], А.А. Маликов[1], А.А. Борисов[2]

[1] Тульский государственный университет, г. Тула, Россия
[2] ФГБУ «3 ЦНИИ» Минобороны России, г. Москва, Россия

Статья поступила в редакцию 22.06.2025

В статье приводится описание методики усовершенствованного универсального бункерного загрузочно-ориентирующего устройства с наклонным вращающимся диском и тангенциально расположенными органами захвата для стержневых ступенчатых заготовок, включающей конструирование органов захвата и ориентирования, построение математической модели вероятности захвата заготовок и математической модели производительности усовершенствованного устройства. Подробно описаны все этапы расчета и проектирования усовершенствованного универсального бункерного загрузочно-ориентирующего устройства для цилиндрических и сложных ступенчатых заготовок тел вращения. Представлен пример расчета и выбора из разработанных и математически описанных диапазонов параметров усовершенствованного устройства для сложной ступенчатой заготовки, при которых усовершенствованное устройство будет стабильно и надежно функционировать, обеспечивая требуемую производительность автоматизированного оборудования при автоматизации процессов загрузки с максимальной производительностью.

Ключевые слова: универсальное бункерное загрузочно-ориентирующее устройство, методика проектирования загрузочного устройства, стержневые ступенчатые заготовки, тангенциальные карманы для захвата заготовок.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-3-171-178
EDN: RWQUJS

ВВЕДЕНИЕ

В массовых производствах нашли широкое применение механические дисковые бункерные загрузочно-ориентирующие устройства (БЗУ) при производстве патронов различных видов оружия, строительно-монтажных патронов, продукции машино- и приборостроения, пищевой продукции. Их используют для автоматизированной подачи в автоматические машины и линии с требуемой производительностью от 100 и более штук в минуту небольших заготовок различных форм в требуемом ориентированном положении перед выполнением некоторых видов технологических операций (вытяжка, сборка, упаковка и др.). Одним из главных требований, предъявляемым к БЗУ является то, что они должны надежно функционировать, обеспечивая безотказную работу технологического оборудования без сбоев и простоев [1, 2].

В связи с тем, что в рамках одного производства могут использоваться разные типы заготовок, которые не существенно отличаются по своим основным размерам, и для каждого из них требуется разработка БЗУ с определенными параметрами органов захвата и ориентирования в зависимости от размеров заготовки, то постоянно возникают задачи проектирования большого количества БЗУ для каждого типа встречающихся в производстве заготовок. Так как это приводит к существенным временным и материальным затратам, то становятся необходимым разработка конструкций и методики проектирования универсальных БЗУ, параметры которых путем регулировки могут подстраиваться под заготовки с различными геометрическими размерами широкой номенклатуры, и внедрение этого в производство [3].

Для ступенчатых заготовок тел вращения, у которых длина в 3 и более раз превышает их наибольший диаметр, была разработана универсальная конструкция усовершенствованного БЗУ с на-

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
Маликов Андрей Андреевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения». E-mail: tppizi@yandex.ru
Борисов Александр Александрович, начальник лаборатории. E-mail: boris912@mail.ru

клонным вращающимся диском и тангенциальными карманами [4]. Целью данной работы является разработка методики его расчета и проектирования, при которых устройство будет надежно и стабильно функционировать, обеспечивая требуемую производительность технологического оборудования автоматических линий, в том числе роторного типа.

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО БУНКЕРНОГО ЗАГРУЗОЧНО-ОРИЕНТИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Проектирование усовершенствованного универсального БЗУ с наклонным диском и тангенциальными карманами для стержневых цилиндрических и сложных ступенчатых заготовок должно осуществляться, исходя из обеспечения им стабильного функционирования и высокой производительности [5], поэтому должна заключаться в следующем. Во-первых, стабильно обеспечивать захват заготовок и их дальнейшее ориентирование, что обуславливает выбор конструктивных и кинематических параметров БЗУ именно с этих позиций. Во-вторых, производительность БЗУ, определяемая в первую очередь вероятностью захвата заготовок, должна быть максимальна, что требует при конструировании тангенциальных карманов выбрать их наиболее оптимальные параметры [6, 7, 8]. Таким образом, специфика функционирования БЗУ обуславливает необходимость его проектирования, основываясь на разработанные ограничения на все параметры тангенциальных карманов и органов БЗУ, осуществляющих ориентирование, и математические модели вероятности захвата и производительности усовершенствованного БЗУ для стержневых ступенчатых заготовок.

На рис. 1 показаны основные этапы проектирования усовершенствованного универсального БЗУ для стержневых ступенчатых заготовок тел вращения: конструирование органов захвата и ориентирования; построение математической модели вероятности захвата; построение математической модели производительности; выбор рабочей окружной скорости тангенциальных карманов; конструирование привода органов захвата и ориентирования.

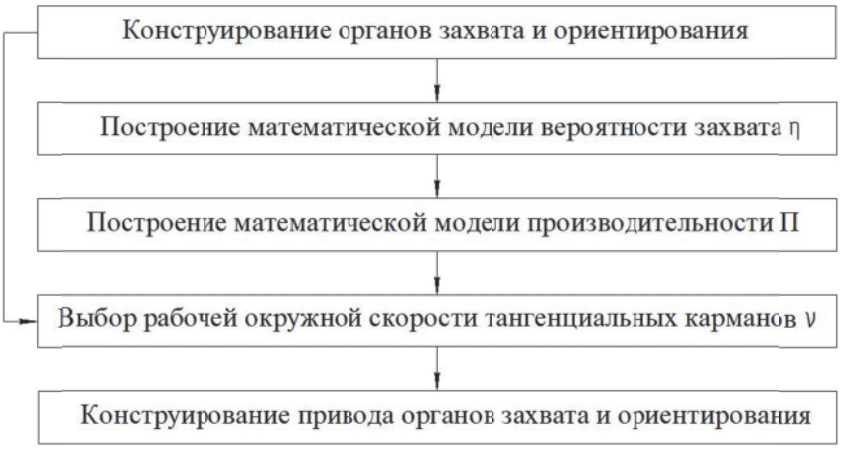

Рис. 1. Основные этапы проектирования усовершенствованного БЗУ для стержневых ступенчатых заготовок

Этап 1. Конструирование органов захвата и ориентирования. На данном этапе решаются задачи обеспечения стабильной работы усовершенствованного БЗУ путем определения диапазонов параметров его основных рабочих органов, при которых оно будет выполнять свои функции. Задачи данного этапа представлены на рис. 2.

Чтобы исключить западание в тангенциальный карман одновременно двух заготовок в продольном направлении, необходимо выбрать высоту кармана, что обеспечит правильное ориентирование заготовок на ножевой опоре в радиальных карманах.

Чтобы исключить западание в тангенциальный карман одновременно двух заготовок, одна из которых находится в продольном направлении, а вторая – в положении стоя, необходимо правильно подобрать значения зазоров $\Delta_к$ по длине кармана и Δ по ширине кармана, которые определяют соответственно длину $l_к$ и ширину В кармана: $l_к = l + \Delta_к$, $B = d_1 + \Delta$. В зависимости от типа заготовок длина $l_к$ кармана, исключающая нахождение в кармане двух заготовок, определяется разработанными диапазонами в зависимости от типа заготовок.

Чем больше величина зазора, тем больше вероятность западания заготовки в карман. Но увеличение $\Delta_к$ приведет к увеличению шага t тангенциальных карманов, что приведет к сокращению их количества и, тем самым, снижению производительности БЗУ. Поэтому целесообразно принимать минимальные значения зазора $\Delta_к$.

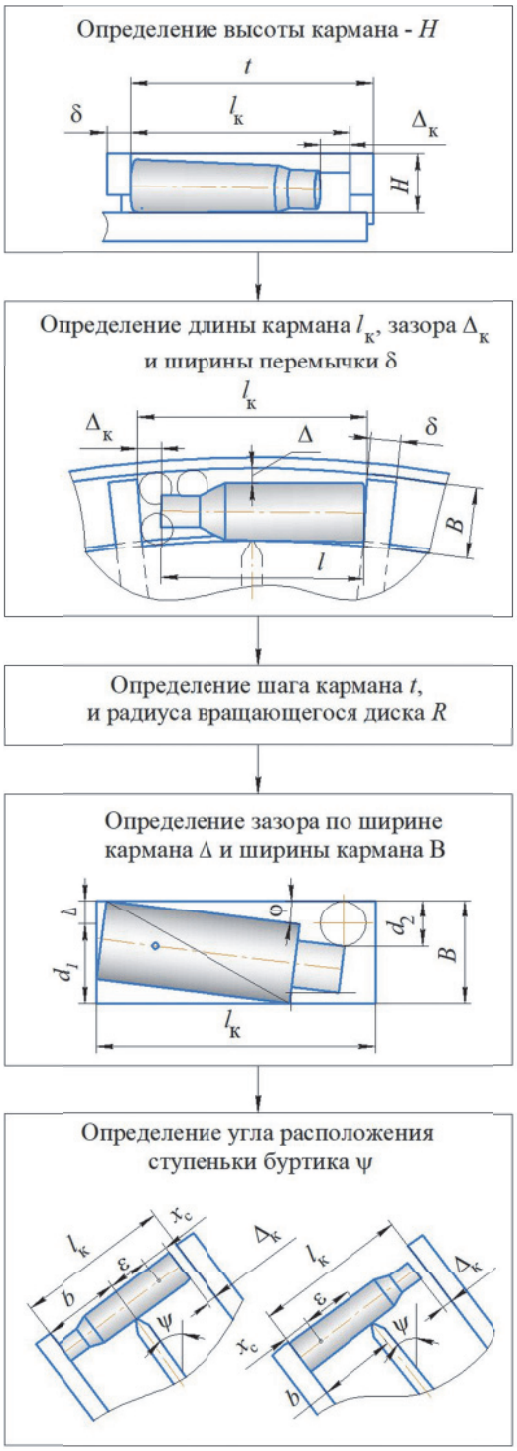

Рис. 2. Последовательность конструирования органов захвата и ориентирования

Толщина перемычки δ между тангенциальными карманами выбирается в диапазоне от 0,005 до 0,01 м, что обусловлено тем, что шаг t тангенциальных карманов доложен быть минимальным для более высокой производительности. Так как размер кармана ограничен длиной заготовки и шагом $\Delta_к$, то варьировать целесообразно параметром δ.

После этого определяются шаг расположения тангенциальных карманов $t = l_к + \delta = l + \Delta_к + \delta$, задается их количество k и определяется радиус вращающегося диска R.

Чтобы определить допустимую ширину тангенциального кармана, необходимо определить оптимальную величину зазора Δ, при которой в карман не западет своим меньшим диаметром заготовка в вертикальном положении.

Затем определяется величина ширина кармана B в зависимости от типа заготовки.

После определения оптимальных размеров тангенциальных карманов, выбирается угол ψ расположения ступеньки буртика от вертикальной оси вращающегося диска – угол начала области, в которой начинается передача заготовки из тангенциального кармана в зону переориентирования заготовки на ножевой опоре и ее переход в радиальные карманы.

Выбор фактического угла $\psi_ф$ расположения ступеньки буртика должен происходить при соблюдении условия $\psi_ф \le \psi_{min}$, то есть он должен быть меньше углов в зависимости от двух возможных вариантов расположения заготовки в тангенциальном кармане – тяжелой частью справа или тяжелой частью слева.

Разработанные ограничение на параметры усовершенствованного универсального БЗУ с наклонным диском и тангенциальными карманами позволяют определить диапазоны его параметров, при которых оно будет надежно и стабильно функционировать.

Этап 2. Построение математической модели вероятности захвата. Вероятность захвата представляет собой произведение вероятностей характеризующих соответственно благоприятное положение заготовки для ее захвата p_i, отсутствие помех от сцепляемости заготовок друг с другом p_c, отсутствие помех со стороны окружной скорости органов захвата $p_υ$. На рис. 3 представлена методика построения математической модели вероятности захвата для всех типов стержневых ступенчатых заготовок в усовершенствованном БЗУ, реализация которой приведена в работах [9, 10, 11].

Вероятность p_i в зависимости от типа заготовки и количества ее поверхностей определяется в следующей последовательности. Сначала определяются вероятности расположения на вращающемся диске каждой из поверхностей заготовок, чтобы определить вероятность $p_б$ того, что заготовка окажется на поверхности диска своей боковой поверхностью – требуемой для захвата. После этого необходимо определить максимальное $p_{i\,max}$ и минимальное $p_{i\,min}$ значения вероятности p_i, соответствующие участкам зоны захвата, где заготовки располагаются разрозненно в один и несколько слоев. Для определения $p_{i\,min}$ необходимо определить углы γ и β. Затем определяется вероятность p_i в зависимости от числа заготовок, которое может разместиться в зоне $\phi_{захв}$ и радиуса R, на котором располагаются тангенциальные карманы.

На следующем этапе для определения вероятности p_c вычисляются площади всех поверхностей заготовки и их сумма, а также рассматриваются все сопряжения поверхностей заготовок, которые возможно сочетать без разъединения и определяются углы ξ с учетом коэффициента трения μ_0.

Затем для описания вероятности p_υ определяется предельное значение окружной скорости $\upsilon_{пред}$ в зависимости от момента инерции заготовки, ее массы и минимальной глубины кармана Δh, на которую должна запасть заготовка, чтобы ее не выбросило из кармана. Момент инерции $J_ц$ центра масс заготовки относительно центра качения определяется в зависимости от массы (плотности) заготовки и ее геометрических параметров, а предельное значение окружной скорости $\upsilon_{пред}$ – массой (плотностью), углом $\alpha_д$ наклона диска, зазором $\Delta_к$ между стенкой кармана и заготовкой и минимальной глубиной Δh кармана.

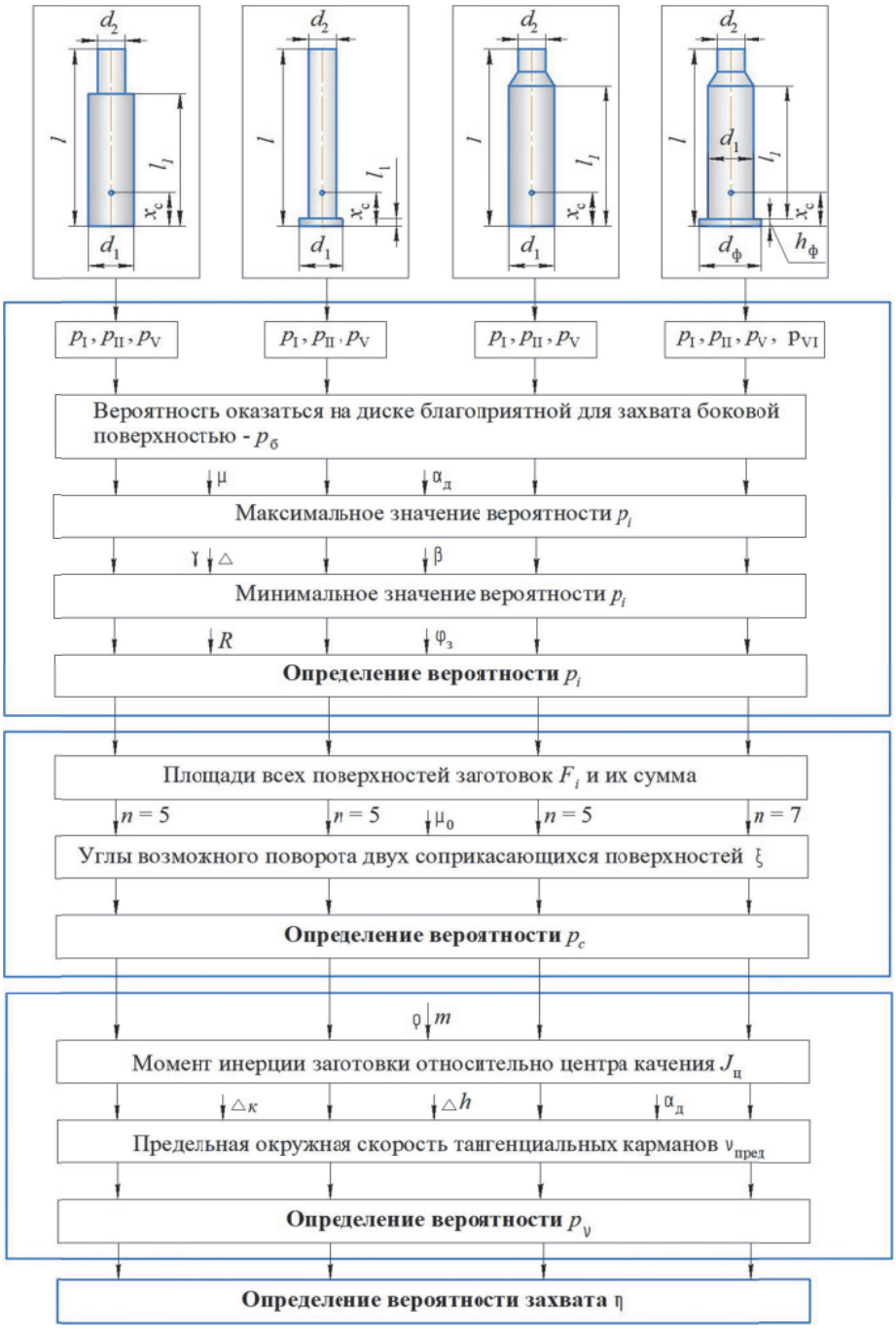

Рис. 3. Методика построения математической модели вероятности захвата заготовок

После того, как определены и описаны вероятности p_i, p_c и p_υ, получаем выражение для определения вероятности η захвата, включающее геометрические размеры стержневых ступенчатых заготовок, конструктивные и кинематические параметры усовершенствованного БЗУ, коэффициенты трения заготовка-БЗУ и заготовка-заготовка.

Этап 3. Построение математической модели производительности осуществляется с использованием разработанной математической модели вероятности захвата по выражению

$$\Pi = \frac{60\upsilon}{t}\eta = \frac{60\upsilon}{t}\left[p_i p_c\left(1-\frac{\upsilon^4}{\upsilon_{\text{пред}}^4}\right)\right].$$

Конечным результатом всех этапов является график зависимости фактической производительности БЗУ от окружной скорости $\Pi(\upsilon)$. График визуализирует максимальное значение производительности усовершенствованного универсального БЗУ с наклонным диском и тангенциальными карманами и величину окружной скорости ее обеспечивающую. С помощью графика, в зависимости от производственных задач, и, в первую очередь требуемой производительности (должна быть на 5–15 % больше, чем производительность автоматической машины или линии), определяется рабочая окружная скорость.

Данную скорость необходимо согласовать с выбранным углом $\psi_{\text{ф}}$, на котором следует расположить ступеньку буртика в выбранных ранее диапазонах, чтобы усовершенствованное БЗУ успело переориентировать заготовку на ножевых опорах в верхней его части.

ПРИМЕР РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКЦИИ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО УСТРОЙСТВА НА МАКСИМАЛЬНУЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

В качестве примера реализации представленной выше методики проектирования универсального БЗУ с наклонным диском и тангенциальными карманами, разработаем конструкцию БЗУ для сложных ступенчатых заготовок на его максимальную производительность. Заготовка имеет следующие размеры: $d_1 = 0,01$ м, $d_2 = 0,007$ м, $l = 0,05$ м, $l_1 = 0,034$ м, $l_{\text{ук}} = 0,006$ м, $x_c = 0,014$ м; латунь. Коэффициента трения: $\mu = 0,25$, $\mu_0 = 0,18$.

Этап 1. Для обеспечения стабильной работы осуществляется конструирование тангенциальных карманов и органов ориентирования заготовок в универсальном БЗУ. Выбор высоты тангенциального кармана для заданной сложной ступенчатой заготовки осуществляем в диапазоне от $H_{\min} = 0,008$ м до $H_{\max} = 0,012$ м; выбираем $H_{\max} = 0,01$ м. Длина $l_{\text{к}}$ тангенциального кармана выбирается из диапазона для заданного типа заготовки – от $l_{\text{к min}} = 0,051$ м до $l_{\text{к max}} = 0,057$ мэ; выбираем $l_{\text{к}} = 0,053$ м. Тогда зазор $\Delta_{\text{к}} = l_{\text{к}} - l = 0,003$ м. Толщину перемычки между тангенциальными карманами принимаем равной $\delta = 0,005$ м. Тогда шаг тангенциальных карманов БЗУ: $t = l + \Delta_{\text{к}} + \delta = 0,058$ м. Тогда, задавшись числом карманов $k = 26$, вычисляем радиус диска по известной формуле. Получаем $R = 0,24$ м. Для определения ширины кармана задаемся значением $\Delta = 0,003$ м. Получаем ширину тангенциального кармана $B = 0,013$ м и сравниваем его со значением $B_{\max} = 0,014$ м. Получаем, что при выбранном зазоре и соответствующей ему ширине тангенциального кармана условие возможного западения в карман второй заготовки в стоячем положении исключена, так как $B < B_{\max}$.

После определения оптимальных размеров тангенциальных карманов, выбираем угол ψ расположения ступеньки буртика от вертикальной оси вращающегося диска или, другими словами, угол начала области, в которой начинается передача заготовки из тангенциального кармана в зону переориентирования заготовки на ножевой опоре и ее переход в радиальные карманы. Определяем значения угла ψ при западании заготовки в карман тяжелыми частями справа и слева. Получаем начальные значения углов ψ в зависимости от окружной скорости карманов: справа $\psi_{\text{п}} = 52^\circ...61^\circ$ и слева $\psi_{\text{л}} = 30^\circ...36^\circ$. Выбираем угол $\psi_{\text{ф}} = 25^\circ$.

Разработанные ограничение на параметры усовершенствованного универсального БЗУ с наклонным диском и тангенциальными карманами позволяют определить диапазоны его параметров, при которых оно будет надежно и стабильно функционировать.

Этап 2. Сначала определяем с помощью разработанной программы основные параметры, входящие в выражение вероятности p_i. Получаем $p_{\text{б}} = 0,962$, $p_{i\max} = 0,695$, $\gamma - \beta = 5,13^\circ$, $p_{i\min} = 0,027$. Тогда вероятность $p_i = 0,979$. Затем с помощью программы определяем вероятность p_c, предва-

рительно определив площадь каждой поверхности заготовки и их суммарное значение. Получаем $p_c = 0,984$. Затем для описания вероятности p_υ от окружной скорости тангенциальных карманов, определим предельное значение окружной скорости $\upsilon_{пред}$ в зависимости от момента инерции заготовки, ее массы и минимальной глубины тангенциального кармана, на которую должна запасть заготовка, чтобы ее не выбросило из кармана. Получаем $\upsilon_{пред} = 0,307$ м/с.

После этого получаем выражение для определения вероятности η захвата, включающее геометрические размеры стержневых ступенчатых заготовок, конструктивные и кинематические параметры усовершенствованного БЗУ, коэффициенты трения заготовка-БЗУ и заготовка-заготовка.

Этап 3. Построим с помощью программы визуализацию вероятности захвата и производительности усовершенствованного БЗУ полученных с помощью программы моделей $\eta = 0,963 \cdot (1 - 112,5\upsilon^4)$; $\Pi = \frac{60\upsilon}{t}[0,963 \cdot (1 - 112,5\upsilon^4)]$ (рис. 4).

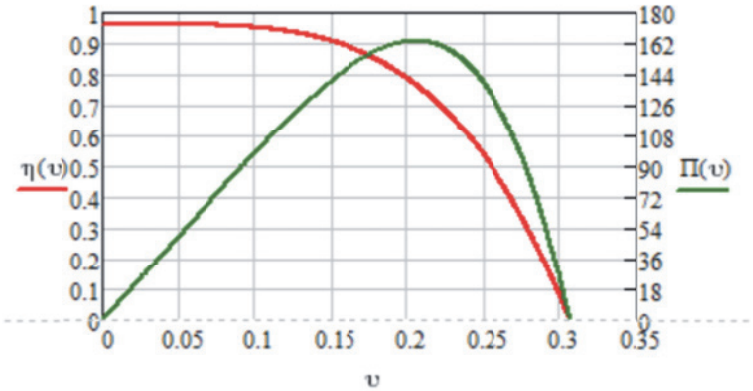

Рис. 4. Графики вероятности захвата и производительности БЗУ (этапы 2 и 3)

С помощью графика определяем, что максимальная производительность БЗУ составляет 163 шт./мин при окружной скорости тангенциальных карманов 0,21...0,22 м/с.

Так как на данных скоростях при эксплуатации БЗУ наблюдаются самые существенные колебания производительности, то рекомендуется принимать скорость равную 0,18 м/с, что позволит обеспечить 158 шт./мин. Это позволит разработанному БЗУ обеспечить бесперебойным питанием технологическое оборудование линии ступенчатыми заготовками, производительность которой составляет 145..150 шт./мин (так как производительность БЗУ должна быть на 5 – 15 % больше, чем производительность автоматической машины или линии). Значение коэффициента переполнения 5 – 15 % может быть взять минимальным, так как усовершенствованное БЗУ характеризуется высокой вероятностью захвата – ее максимальное значение составляет 0,963. Это значит, что колебания производительности усовершенствованного БЗУ с наклонным вращающимся диском и тангенциальными карманами минимальны. Значение скорости 0,18 м/с позволяет заготовкам вовремя перейти в зону их ориентирования при $\psi_ф = 25^\circ$.

На следующих этапах проектирования конструируется привод БЗУ с наклонным диском и тангенциальными карманами, представляющий собой асинхронный электродвигатель, клиноременную передачу и червячный редуктор, а также предохранительная муфта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная методика и основные этапы проектирования предложенного усовершенствованного универсального БЗУ с наклонным диском и тангенциальными карманами разработана на основе результатов теоретических и экспериментальных исследований. Она позволяет обосновать рациональные параметры разработанного БЗУ, при которых оно будет стабильно функционировать, обеспечивая необходимую для обеспечения непрерывной работы автоматизированного оборудования производительность.

На примере сложной ступенчатой заготовки подробно описаны все этапы разработанной методики, включающие определение диапазонов параметров его основных рабочих органов, при которых БЗУ будет стабильно функционировать, обеспечивая захват тангенциальным карманом только одной заготовки и ее дальнейшее ориентирование, построение математических моделей вероятности захвата заготовок и производительности усовершенствованного БЗУ, позволяющих обоснованно определить значения тех параметров БЗУ, при которых его производительность будет максимальна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Прейс, В.В.* Прогнозирование надежности автоматической сборочной линии с учетом потерь комплектующих элементов при сборке многоэлементных изделий / В.В. Прейс // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2024. – № 4. – С. 153– 156.
2. *Пантюхина, Е.В.* Факторы, влияющие на производительность механических дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройств / Е.В. Пантюхина, С.А. Васин, С.Н. Шевченко, А.А. Борисов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Самара: Самарский федеральный исследовательский центр РАН, 2024. – Вып. 3. – С. 99–104.
3. *Борисов, А.А.* Универсальные конструкции механических дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройств для асимметричных по торцам заготовок тел вращения / А.А. Борисов, Е.В. Пантюхина, С.А. Васин, А.С. Клентак // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2024. – Т. 26. – № 6 (122). – С. 109–117.
4. *Васин, С.А.* Верификация математической модели производительности бункерного загрузочно-ориентирующего устройства с наклонным диском и тангенциальными карманами для сложных ступенчатых заготовок / С.А. Васин, А.А. Борисов, Е.В. Пантюхина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 3. – С. 253–259.
5. *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.
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. *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.
8. *Лукин, С.А.* Методика проектирования универсального механического дискового бункерного загрузочного устройства с зубьями и регулируемым ориентатором для заготовок тел вращения в форме колпачка / С.А. Лукин, С.А. Васин, Е.В. Пантюхина // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 3. – С. 36–43.
9. *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.
10. *Борисов, А.А.* Теоретическое исследование вероятности захвата стержневых ступенчатых заготовок в бункерном загрузочно-ориентирующем устройстве с наклонным диском и тангенциальными карманами / А.А. Борисов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 2. – С. 530–539.
11. *Борисов, А.А.* Математическая модель и теоретическое исследование производительности бункерного загрузочно-ориентирующего устройства с наклонным диском и тангенциальными карманами для сложных ступенчатых заготовок / А.А. Борисов, С.А. Васин, Е.В. Пантюхина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 2. – С. 551–557.

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

© 2025 E.V. Pantyukhina[1], S.A. Vasin[1], A.A. Malikov[1], A.A. Borisov[2]

[1] Tula State University, Tula, Russia
[2] FSBI «3 CRI of the Ministry of Defense of the RF», Tula, Moscow, Russia

The article describes a technique of an improved universal hopper feeding-orienting device with an inclined rotating disk and tangentially arranged gripping members for rod stepped workpieces, which includes designing gripping and orienting members, building a mathematical model of the probability of gripping workpieces and a mathematical model of the feed rate of the improved device. All stages of calculation and design of improved universal hopper feeding-orienting device for cylindrical and complex stepped workpieces of solids of revolution are described in detail. An example of calculation and selection from the developed and mathematically described ranges of parameters of an improved device for a complex stepped workpiece is presented, at which the improved device will stably and reliably function, providing the required feed rate of automated equipment while automating feeding processes with maximum feed rate.

Keywords: universal hopper feeding-orienting device, feeding device design technique, rod stepped blanks, tangential pockets for gripping blanks.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-3-171-178
EDN: RWQUJS

REFERENCES

1. *Prejs, V.V.* Prognozirovanie nadezhnosti avtomaticheskoj sborochnoj linii s uchetom poter' komplektuyushchih elementov pri sborke mnogoelementnyh izdelij / V.V. Prejs // Sborka v mashinostroenii, priborostroenii. – 2024. – № 4. – pp. 153– 156.
2. *Pantyuhina, E.V.* Faktory, vliyayushchie na proizvoditel'nost' mekhanicheskih diskovyh bunkernyh zagruzochno-orientiruyushchih ustrojstv / E.V. Pantyuhina, S.A. Vasin, S.N. Shevchenko, A.A. Borisov // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – Samara: Samarskij federal'nyj issledovatel'skij centr RAN, 2024. – Vyp. 3. – pp. 99–104.
3. *Borisov, A.A.* Universal'nye konstrukcii mekhanicheskih diskovyh bunkernyh zagruzochno-orientiruyushchih ustrojstv dlya asimmetrichnyh po torcam zagotovok tel vrashcheniya / A.A. Borisov, E.V. Pantyuhina, S.A. Vasin, A.S. Klentak // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2024. – T. 26. – № 6 (122). – pp. 109–117.
4. *Vasin, S.A.* Verifikaciya matematicheskoj modeli proizvoditel'nosti bunkernogo zagruzochno-orientiruyushchego ustrojstva s naklonnym diskom i tangencial'nymi karmanami dlya slozhnyh stupenchatyh zagotovok / S.A. Vasin, A.A. Borisov, E.V. Pantyuhina // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2025. – № 3. – S. 253–259.
5. *Pantyuhina, E.V.* Proektirovanie mekhanicheskih diskovyh bunkernyh zagruzochnyh ustrojstv dlya predmetov obrabotki formy tel vrashcheniya s neyavnoj asimmetriej / E.V. Pantyuhina. – Tula: Izd-vo TulGU, 2024. – 228 p.
6. *Vasin, S.A.* Osnovnye napravleniya proektirovaniya mekhanicheskih diskovyh bunkernyh zagruzochnyh ustrojstv dlya asimmetrichnyh detalej formy tel vrashcheniya / S.A. Vasin, E.V. Pantyuhina // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya. – 2023. – № 1. – pp. 8–15.
7. *Davydova, E.V.* Teoreticheskie osnovy proektirovaniya diskovogo zubchatogo bunkernogo zagruzochnogo ustrojstva s kol'cevym orientatorom / E.V. Davydova, V.V. Prejs // Sborka v mashinostroenii, priborostroenii. – 2013. – № 7. – pp. 8–14.
8. *Lukin, S.A.* Metodika proektirovaniya universal'nogo mekhanicheskogo diskovogo bunkernogo zagruzochnogo ustrojstva s zub'yami i reguliruemym orientatorom dlya zagotovok tel vrashcheniya v forme kolpachka / S.A. Lukin, S.A. Vasin, E.V. Pantyuhina // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya. – 2024. – № 3. – pp. 36–43.
9. *Vasin, S.A.* Metodika opredeleniya veroyatnosti zahvata asimmetrichnyh detalej formy tel vrashcheniya v diskovyh bunkernyh zagruzochno-orientiruyushchih ustrojstvah / S.A. Vasin, E.V. Pantyuhina // Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie. – 2023. – № 3. – pp. 64–88.
10. *Borisov, A.A.* Teoreticheskoe issledovanie veroyatnosti zahvata sterzhnevyh stupenchatyh zagotovok v bunkernom zagruzochno-orientiruyushchem ustrojstve s naklonnym diskom i tangencial'nymi karmanami / A.A. Borisov // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2025. – № 2. – pp. 530–539.
11. *Borisov, A.A.* Matematicheskaya model' i teoreticheskoe issledovanie proizvoditel'nosti bunkernogo zagruzochno-orientiruyushchego ustrojstva s naklonnym diskom i tangencial'nymi karmanami dlya slozhnyh stupenchatyh zagotovok / A.A. Borisov, S.A. Vasin, E.V. Pantyuhina // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2025. – № 2. – pp. 551–557.

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

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

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