

УДК 621.9.06

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ УНИВЕРСАЛЬНОГО БУНКЕРНОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА С ЗУБЬЯМИ И РЕГУЛИРУЕМЫМ ОРИЕНТАТОРОМ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ В ФОРМЕ КОЛПАЧКА© 2024 С.А. Васин¹, С.Н. Шевченко², Е.В. Пантюхина¹, С.А. Лукин³¹Тулский государственный университет, г. Тула, Россия²Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, г. Самара, Россия³АО «Тулский патронный завод», г. Тула, Россия

Статья поступила в редакцию 29.07.2024

В статье представлено усовершенствованное универсальное механическое дисковое бункерное загрузочное устройство зубьями и регулируемым ориентатором для стержневых деталей в форме колпачка. Разработаны ограничения на конструктивные параметры захватывающих и ориентирующих органов усовершенствованного универсального бункерного загрузочного устройства и представлены разработанные с учетом условий захвата и ориентирования рабочие диапазоны значений ширины, длины и высоты карманов, геометрических параметров регулируемого ориентатора, при которых устройство будет надежно функционировать. Представлены разработанные математические модели вероятности захвата и производительности усовершенствованного универсального бункерного загрузочного устройства, позволяющие при описании производительности учесть конструктивные и кинематические параметры устройства, параметры деталей в форме колпачка различных конфигураций. С помощью разработанных математических моделей определены диапазоны оптимальных конструктивных и кинематических параметров усовершенствованного универсального бункерного загрузочного устройства для различных деталей. Представлены результаты экспериментальных исследований влияния уровня заполнения бункера усовершенствованного устройства деталями на его производительность.

Ключевые слова: бункерное загрузочное устройство с зубьями, захвата деталей, ориентирование деталей, производительность, вероятность захвата, детали в форме колпачка.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4-109-117

EDN: FBWWDU

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших направлений развития различных отраслей производства является комплексная автоматизация всего цикла изготовления изделий, которая позволит эффективно использовать все производственные мощности, минимизировать численность работающего персонала и расширить номенклатуру выпускаемых изделий [1, 2]. В патронном производстве в связи с выходом новых видов патронов требуется непрерывная разработка систем автоматической загрузки (САЗ) как различных заготовок или деталей (рондолей, колпачков, полуфабрикатов гильз и других элементов патрона), так и готовых патронов с требуемой производительностью и в заданном положении в технологическое оборудование автоматизированных линий, осуществляющих операции вытяжки, штамповки, об-

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

Пантюхина Елена Викторовна, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры «Промышленная автоматика и робототехника». E-mail: e.v.pant@mail.ru

Лукин Сергей Анатольевич, генеральный директор. E-mail: tpz@tulammo.ru

жима, механической обработки, сборки готовых патронов и их осмотра для контроля качества [3].

Среди всех деталей патронного производства наибольшую долю составляют детали тел вращения в форме колпачка, имеющие различные конфигурацию и геометрические параметры, что в совокупности для каждой конкретной детали определяет тип механического дискового бункерного загрузочного устройства (БЗУ) САЗ для их ориентирования и его конструктивные параметры. Существующие БЗУ надежно функционируют для конкретных деталей с определенными геометрическими размерами и формой, но при изменении их длины или диаметра требуется разработка как новых по размерам захватывающих и ориентирующих органов, так и самих БЗУ, приводящая к существенным материальным и временным затратам [4, 5]. Поэтому в современных условиях важнейшим и актуальным направлением развития автоматизированных производств в области автоматической загрузки штучных деталей на рабочие позиции технологического оборудования является разработка универсальных БЗУ, способных в кратчайшие сроки перенастраиваться на ориентирование деталей с другими геометрическими размерами и других форм. Это позволит расширить технические возможности БЗУ, повысить надежность их функционирования,

существенно сократить сроки на переналадку технологического оборудования и тем самым существенно увеличить его производительность.

Учитывая особенности механических дисковых БЗУ, их проектирование должно способствовать реализации загрузки различных по форме и размерам деталей в форме колпачка с возможностью быстрой переналадки с одного типоразмера на другой, обеспечению надежного функционирования БЗУ при ориентировании деталей, повышению вероятности захвата деталей карманами БЗУ с целью повышения его производительности. Поэтому проектирование оптимальных по всем параметрам БЗУ должно осуществляться в рамках комплексной методологии, включающей не только проектирование, но и исследование процессов функционирования БЗУ.

МЕХАНИЧЕСКОЕ ДИСКОВОЕ УНИВЕРСАЛЬНОЕ БУНКЕРНОЕ ЗАГРУЗОЧНОЕ УТРОЙСТВО С ЗУБЬЯМИ И РЕГУЛИРУЕМЫМ ОРИЕНТАТОРОМ

Для ориентирования стержневых цилиндрических деталей в форме колпачка с целью их дальнейшей подачи в технологическое оборудование было предложено универсальное БЗУ с зубьями и регулируемым ориентатором – копиром, выполненным в виде кольцевого сектора и расположенным в пазу неподвижного основания. БЗУ работает на основе смещения и в зависимости от расположения центра масс детали относительно ее середины. На основании БЗУ в верхней части расположено кольцо с кольцевой проточкой, где устанавливается и регулируется с помощью подпружиненных болтов ориентатор, высота которого сначала плавно увеличивается от нуля до максимальной величины, а затем остается постоянной до конца кольцевой проточки. Неправильно запавшие в карманы детали, в отличие от правильно запавших деталей, в верхней части выпадают обратно в нижнюю часть под действием силы тяжести [6 – 8].

Для более удобной регулировки ориентатора, при которой не требуется съём вращающегося диска, предложено в усовершенствованном БЗУ осуществлять регулировку с противоположной стороны – со стороны неподвижного основания.

Общий вид 3D-макета конструкторского решения универсального БЗУ представлен на рис. 1. Универсальное БЗУ может быть использовано для автоматической загрузки деталей различных форм в пределах некоторых значений их диаметров, ограниченных шириной кармана, и длин, ограниченных возможностями регулировки ориентатора по высоте. На рис. 2 показаны схема регулировки ориентатора и его нахождение в крайних нижнем (а) и верхнем (б) положениях, определяемых длиной загружаемых деталей и расположением в них координаты центра масс.

При проектировании универсального БЗУ необходимо, чтобы его захватывающие и ориентирующие органы способствовали повышению вероятности захвата деталей в правильном положении (дном вниз), удержанию в карманах таких деталей в верхней части бункера БЗУ, выпадению из карманов деталей, запавших в карман в неправильном положении (открытой частью). Это все в совокупности обеспечит надежное функционирование БЗУ. Для повышения производительности БЗУ необходимо увеличить вероятность захвата деталей карманом, что обеспечивается наличием на поверхности вращающегося диска радиальных пазов, ворошащих детали зубьев, расположенных на периферии диска между карманами, и оптимально подобранными размерами карманов, при которых в карман не западет другая деталь.

Диапазоны допустимых значений геометрических параметров захватывающих и ориентирующих органов БЗУ и результаты их математического моделирования позволят выбрать их оптимальные конструктивные значения. Так как в БЗУ функции захвата и ориентирования осуществляются в процессе диска с захватывающими органами, то для обеспечения указанных процессов необходимо также определить граничные значения окружной скорости захватывающих органов по захвату и ориентированию. Первая из указанных задач решается в рамках построения математических моделей вероятности захвата, а вторая – при определении граничных условий процесса ориентирования деталей путем численного решения дифференциальных уравнений их движения.

Таким образом, для обеспечения надежного функционирования универсальной конструкции БЗУ с зубьями и регулируемым ориентатором для деталей в форме колпачка необходимо в дальнейшем разработать математические модели, позволяющие определить диапазоны рабочих значений конструктивных и кинематических параметров органов захвата и ориентирования БЗУ.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ НА ЗАХВАТЫВАЮЩИЕ И ОРИЕНТИРУЮЩИЕ ОРГАНЫ УНИВЕРСАЛЬНОГО БУНКЕРНОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УТРОЙСТВА С ЗУБЬЯМИ И РЕГУЛИРУЕМЫМ ОРИЕНТАТОРОМ

На рис. 3 представлены расчетные схемы, с помощью которых были разработаны диапазоны значений параметров карманов и регулируемого ориентатора БЗУ.

Рекомендуется выбирать ширину h_k кармана в диапазоне $1,1d_1 \leq h_k < 1,6d_1$ при условии, что $l < 1,6d_1$. Длина l_k кармана в зоне ориентирования должна быть выбрана так, чтобы

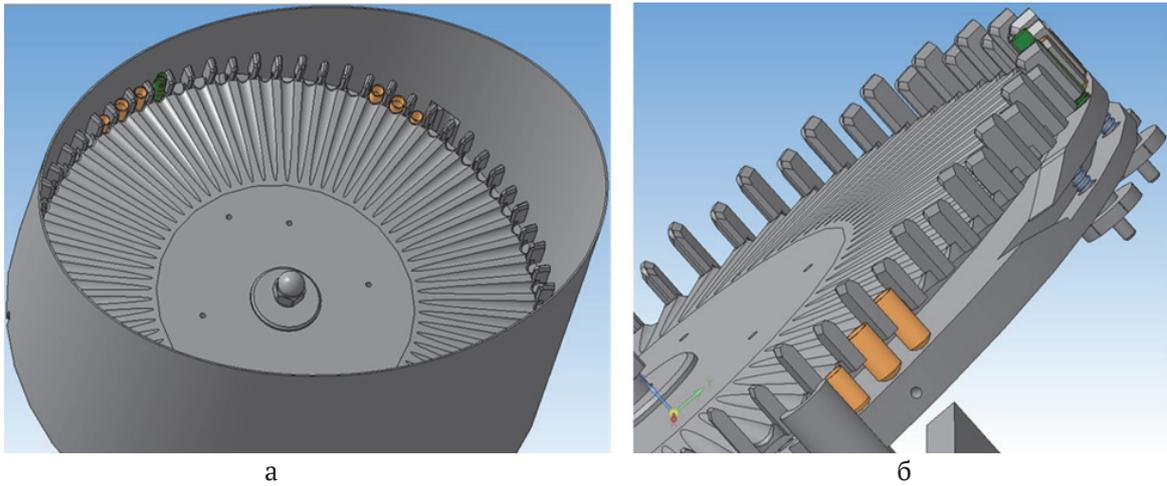


Рис. 1. Универсальное БЗУ с зубьями и регулируемым с нижней части основания ориентатором, выполненным в виде кольцевого сектора:
а – общий вид; б – фрагмент вращающегося диска с зубьями и карманами

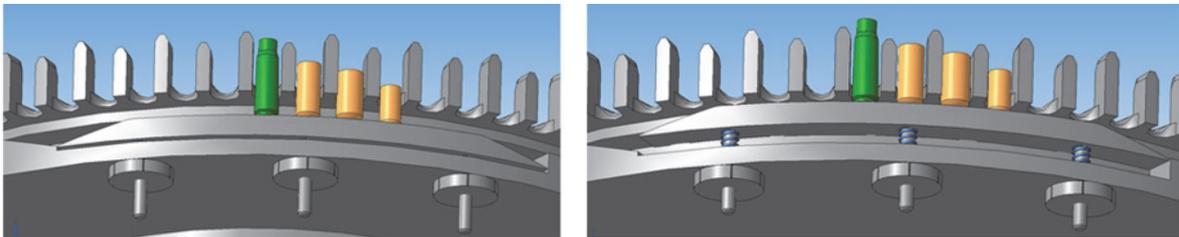


Рис. 2. Схема регулировки ориентатора и его нахождения в крайнем нижнем (а) и крайнем верхнем (б) положениях для различных деталей в форме колпачка

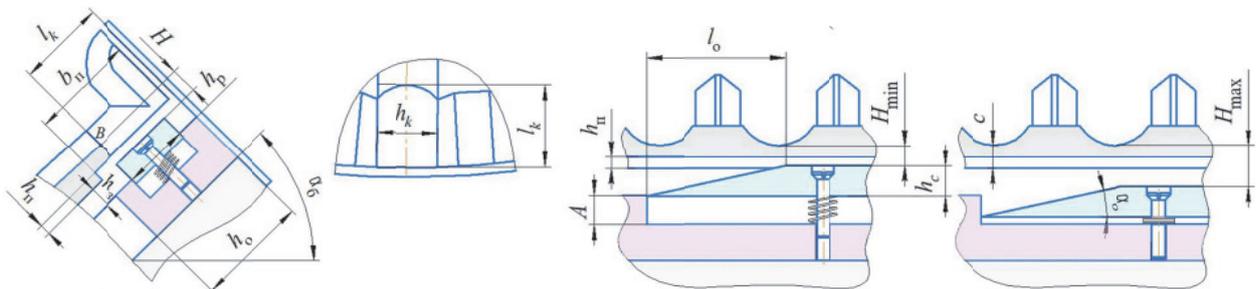


Рис. 3. Расчетные схемы для разработки ограничений на конструктивные параметры захватывающих и ориентирующих органов БЗУ

деталь, запавшая в карман в неправильном положении, смогла выпасть из кармана, опрокидываясь на краю кармана (точка В), поэтому $l_k > \sqrt{d_1^2 + H^2}$. Высота H кармана регулируется в диапазоне $H_{\text{захв}} \leq H \leq H_{\text{ориент}}$ или, описав условия захвата и ориентирования деталей с помощью расчетной схемы, получим условие $l - x_c - 0,5d_1 \text{ctg} \alpha_6 \geq H \geq x_c - 0,5d_1 \text{ctg} \alpha_6$, где α_6 – угол наклона диска БЗУ (рис. 4, а, б). Высота проточки $h_{\text{п}}$ не должна быть больше половины ширины c диска в зоне точки В, где начинается карман $h_{\text{п}} \leq 0,5c$, а ширина проточки имеет величину, не превышающую ширину h_0 кольца и позволяющую осуществлять регулировку ориентатора по высоте $h_0 \geq b_{\text{п}} > h_{\text{р}}$, что увеличит срок службы диска по износу, а также даст воз-

можность свободного перемещения ориентатора. Угол α_0 начального участка ориентатора должен обеспечивать беспрепятственное движение по нему деталей, а длина его склона l_0 зависит от расположения его верхнего участка, определяемого углом ψ начала выпадения неправильно запавших в карман деталей, для определения которого рассматривались условия равновесия детали в кармане (рис. 4, в).

Верхний участок кольцевого ориентатора должен начинаться не позднее угла ψ , при котором начнется пассивное ориентирование неправильно запавших в карман деталей (рис. 5).

Составим систему уравнений, представляющих собой условия статического равновесия детали в кармане в начальный момент ее пассивного ориентирования (сумма моментов всех

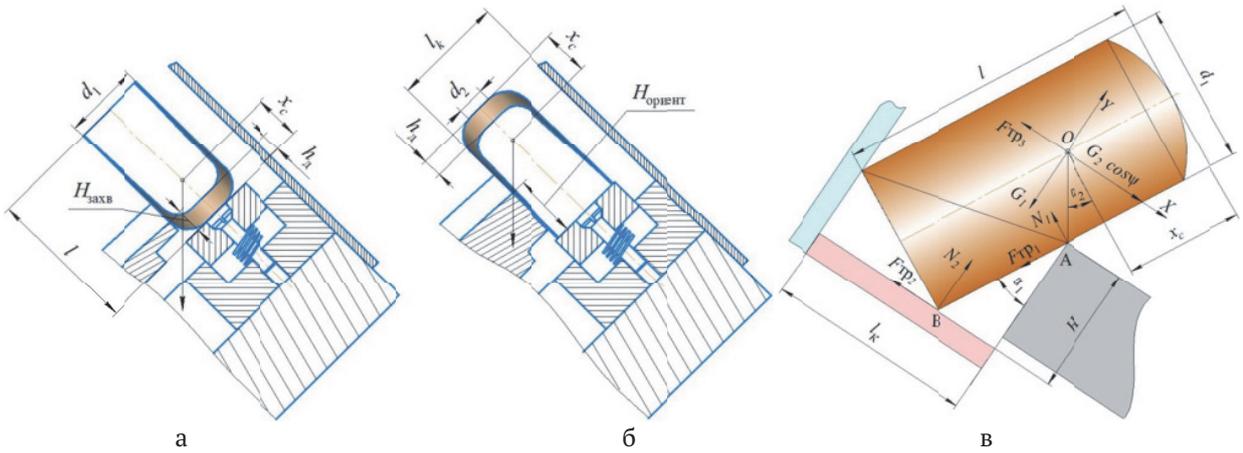


Рис. 4. Схемы расположения детали в кармане при захвате (а), ориентировании (б) и начальном этапе ее выпадения из кармана (в)

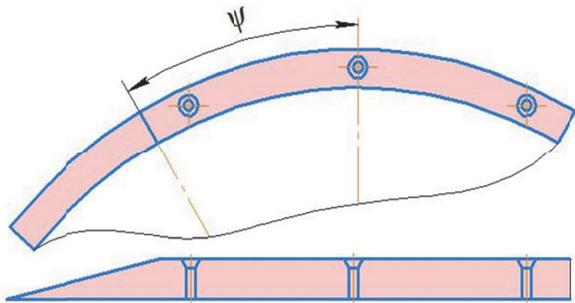


Рис. 5. Схема расположения самой высокой части регулируемого ориентатора под углом ψ к вертикальной оси вращающегося диска

сил относительно опор A и B , а также их проекций на ось OY), разложив силу тяжести G детали на составляющие в зависимости от угла наклона α_6 вращающегося диска (бункера) $G_1 = G \cos \alpha_6$ и $G_2 = G \sin \alpha_6$, а также выполняя преобразования сил трения диска $F_{тр1}$, ориентатора $F_{тр2}$ и боковой поверхности кармана $F_{тр3}$, как произведение коэффициентов трения μ на соответствующие реакции опор N_1 , N_2 и N_3 (сила нормальной реакции боковой поверхности располагается в другой плоскости и определяется как $N_3 = G_2 \sin \psi$).

$$\begin{aligned} \sum M_A &= -G_1 \cdot l_{G_1}^A + G_2 (\cos \psi - \mu \sin \psi) \cdot l_{G_2}^A + N_2 \cdot (l_{N_2}^A + \mu \cdot H) = 0; \\ \sum M_B &= -N_1 \cdot l_{N_1}^B + G_1 \cdot l_{G_1}^B + G_2 (\cos \psi - \mu \sin \psi) \cdot l_{G_2}^B = 0; \\ \sum F_{OY} &= -G_1 + N_2 + N_1 (\sin \alpha_1 - \mu \cos \alpha_1) = 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где $l_{G_1}^A, l_{G_2}^A, l_{N_2}^A$ – плечи сил G_1, G_2, N_2 соответственно относительно опоры A ; $l_{G_1}^B, l_{G_2}^B, l_{N_1}^B$ – плечи сил G_1, G_2, N_1 соответственно относительно опоры B ; α_1 – угол между цилиндрической поверхностью детали и боковой поверхностью диска.

Выразив из 1-го и 2-го уравнений системы (1) силы N_1, N_2 и подставив их в 3-е уравнение системы (1), получим

$$\begin{aligned} & -G_1 + \frac{G_1 \cdot l_{G_1}^A - G_2 \cdot A \cdot l_{G_2}^A}{l_{N_2}^A + \mu \cdot H} + \\ & + \frac{G_1 \cdot l_{G_1}^B + G_2 \cdot A \cdot l_{G_2}^B}{l_{N_1}^B} (\sin \alpha_1 - \mu \cos \alpha_1) = 0, \quad (2) \end{aligned}$$

где $l_{G_1}^A = B \cdot \sin(90^\circ - \alpha_1 - \alpha_2)$, $l_{G_2}^A = B \cdot \cos(90^\circ - \alpha_1 - \alpha_2)$, $A = \cos \psi - \mu \sin \psi$, $\alpha_2 = \arccos \frac{d_1}{2B}$,

$$B = \sqrt{\left(l - x_c - \frac{H}{\cos \alpha_1}\right)^2 + \left(\frac{d_1}{2}\right)^2}, \quad l_{N_1}^B = \frac{H}{\cos \alpha_1},$$

$$l_{N_2}^A = H \cdot \tan \alpha_1, \quad l_{G_1}^B = H \cdot \tan \alpha_1 - l_{G_1}^A, \quad l_{G_2}^B = l_{G_2}^A + H.$$

Угол α_1 будет определяться численными методами в Mathcad из выражения, решение которого аналитически затруднено $d_1 \cos \alpha_1 + H \tan \alpha_1 = l_k$. Выразим из выражения (2) параметр A , учитывающий влияние начального угла ψ . Получим

$$A = \frac{\cos \alpha_6}{\sin \alpha_6} \cdot \frac{1 - \frac{l_{G_1}^A}{l_{N_2}^A + \mu \cdot H} - \frac{l_{G_1}^B \cdot (\sin \alpha_1 - \mu \cos \alpha_1)}{l_{N_1}^B}}{\frac{l_{G_2}^B \cdot (\sin \alpha_1 - \mu \cos \alpha_1)}{l_{N_1}^B} - \frac{l_{G_2}^A}{l_{N_2}^A + \mu \cdot H}}.$$

Так как $A = \cos \psi - \mu \sin \psi$, то, выполняя преобразования, получим

$$\psi = \arcsin \frac{-\mu A + \sqrt{\mu^2 + 1 - A^2}}{\mu^2 + 1}. \quad (3)$$

Таким образом, скос (подъем) регулируемого ориентатора должен заканчиваться не позд-

нее угла ψ , при котором начинается процесс выпадения деталей из кармана.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОКРУЖНОЙ СКОРОСТИ ЗАХВАТЫВАЮЩИХ ОРГАНОВ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО БУНКЕРНОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА, ПРИ КОТОРОЙ БУДЕТ ОБЕСПЕЧЕНА ЕГО МАКСИМАЛЬНАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

Для определения оптимальных значений окружной скорости захватывающих органов усовершенствованного универсального БЗУ необходимо разработать математические модели вероятности захвата и производительности в виде выражений

$$\eta = p_i p_c \left(1 - \frac{v^4}{v_{\text{пред}}^4} \right); \Pi = \frac{60v}{t} \eta, \quad (4)$$

где p_i – вероятность нахождения деталей по направлению к карману в положении, благоприятном для захвата; p_c – вероятность того, что захвату не помешает взаимосцепляемость деталей; v , $v_{\text{пред}}$ – фактическое и предельное значения окружной скорости, при которых в карманы, расположенные с шагом t , не успеет застыть ни одна деталь.

Вероятность p_i определена из условий, при которых будет обеспечен захват деталей в требуемом положении. На рис. 6 представлены расчетные схемы для определения вероятностей нахождения на поверхности вращающегося диска различных деталей на каждой поверхности – I (наибольший по диаметру торец – вероятность p_I), II (наименьший по диаметру торец – вероятность p_{II}), III (боковая цилиндрическая – вероятность p_{III}).

Получим для деталей (рис. 6, а, б, в)

$$p_I = \frac{1}{2} - \frac{l - x_c}{2\sqrt{(l - x_c)^2 + 0,25d_1^4}};$$

для детали (рис. 6, г)

$$p_I = \frac{1}{2} - \frac{l - x_c}{2\sqrt{(l - x_c)^2 + 0,25d_2^4}};$$

$$p_{II} = \frac{1}{2} - \frac{x_c - l + l_1}{2\sqrt{(x_c - l + l_1)^2 + 0,25d_1^4}} \text{ – для дета-}$$

ли (рис. 6, а);

для детали (рис. 6, б)

$$p_{II} = \frac{1}{2} - \frac{x_c}{2\sqrt{x_c^2 + 0,25d_2^4}};$$

$$p_{II} = \frac{1}{2} - \frac{x_c - h_d}{2\sqrt{(x_c - h_d)^2 + 0,25l_d^4}} \text{ – для детали}$$

(рис. 6, в);

$$p_{II} = \frac{1}{2} - \frac{x_c}{2\sqrt{x_c^2 + 0,25d_1^4}} \text{ – для детали (рис. 6, г);}$$

$p_{III} = 1 - p_I - p_{II}$ – для всех деталей. В полученных формулах h_d и l_d – геометрические размеры дна детали, l_1 – геометрические размеры участка ее боковой поверхности.

Захват деталей их дном возможен или сразу поверхностью I, или в результате поворота оказавшейся своей боковой поверхностью III детали на дне вращающегося диска к карману поверхностью I. Были определены вероятности $p_{i\text{max}}$ и $p_{i\text{min}}$, показывающие распределение вероятности p_i по всем органам захвата по периферии, где детали располагаются одним и несколькими слоями. Получим для деталей рис. 6, а, б, в, г соответственно:

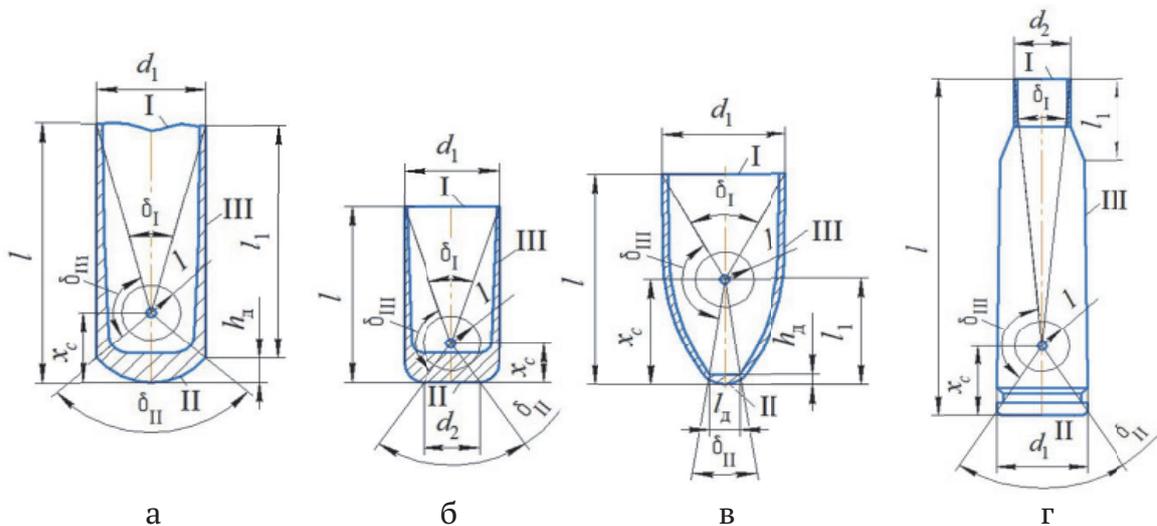


Рис. 6. Расчетные схемы к нахождению вероятностей p_I , p_{II} и p_{III} для полуфабрикатов гильзы до (а) и после (б) обрезки, оболочки пули (в), гильзы (г)

$$p_{i_{\max}} = \frac{1}{2} - \frac{x_c - l + l_1}{2\sqrt{(x_c - l + l_1)^2 + 0,25d_1^4}} + \frac{p_{III}}{\pi} \left(\arccos \frac{x_c - l + l_1}{\sqrt{(x_c - l + l_1)^2 + 0,25d_1^4}} - \arcsin \frac{\mu}{\alpha_6} \right);$$

$$p_{i_{\max}} = \frac{1}{2} - \frac{x_c}{2\sqrt{x_c^2 + 0,25d_2^4}} + \frac{p_{III}}{\pi} \left(\arccos \frac{x_c}{\sqrt{x_c^2 + 0,25d_2^4}} - \arcsin \frac{\mu}{\alpha_6} \right);$$

$$p_{i_{\max}} = \frac{1}{2} - \frac{x_c - h_d}{2\sqrt{(x_c - h_d)^2 + 0,25l_d^4}} + \frac{p_{III}}{\pi} \left(\arccos \frac{x_c - h_d}{\sqrt{(x_c - h_d)^2 + 0,25l_d^4}} - \arcsin \frac{\mu}{\alpha_6} \right);$$

$$p_{i_{\max}} = \frac{1}{2} - \frac{x_c}{2\sqrt{x_c^2 + 0,25d_1^4}} + \frac{p_{III}}{\pi} \left(\arccos \frac{x_c}{\sqrt{x_c^2 + 0,25d_1^4}} - \arcsin \frac{\mu}{\alpha_6} \right)$$

Вероятность $p_{i_{\min}}$ будет определяться для деталей рис. 6, а, б по формуле

$$p_{i_{\min}} = \frac{1 - p_I - p_{II}}{2\pi} \left(\arcsin \frac{h_k}{\sqrt{d_1^2 + l_1^2}} - \arcsin \frac{d_1}{\sqrt{d_1^2 + l_1^2}} \right);$$

а для деталей рис. 2, в и г соответственно

$$p_{i_{\min}} = \frac{p_{III}}{2\pi} \left(\arcsin \frac{h_k}{\sqrt{d_1^2 + (l - l_1)^2}} - \arcsin \frac{d_1}{\sqrt{d_1^2 + (l - l_1)^2}} \right);$$

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

Вероятность p_i , входящая в выражение (4), будет определяться формулой (5):

$$p_i = 1 - \left(1 - p_{i_{\max}} \right)^3 \left(1 - p_{i_{\min}} \right)^{\frac{\pi R \Phi_{\text{захв}}}{180(h_k + \delta)}}, \quad (5)$$

где R – радиус диска БЗУ по оси карманов; $\Phi_{\text{захв}}$ – зона захвата деталей; δ – расстояние между карманами.

Вероятность p_c позволяет учесть влияние на производительность БЗУ взаимосцепляемости деталей и коэффициента трения μ_3 между ними. Для деталей, представленных на рис. 6 а, б, в соответственно получим:

$$p_c = 1 - \frac{\arctan \mu_3 \cdot \left[\sqrt{2} \cdot 0,5d_1^2 + 2rh_d + 2d_1(l - h_d) \right]}{9\pi\sqrt{2} \cdot (0,25d_1^2 + 2rh_d + d_1(l - h_d))}; \quad (6)$$

$$p_c = 1 - \frac{\arctan \mu_3 \cdot \left[\sqrt{2}(d_1^2 + d_2^2) + 0,5d_1^2 + 0,5d_2^2 + 4d_1l \right]}{\sqrt{2}\pi \cdot n \cdot (0,25d_1^2 + 0,25d_2^2 + d_1l)}; \quad (7)$$

$$p_c = 1 - \frac{\arctan \mu_3 \cdot \left[\sqrt{2}(d_1^2 + d_2^2) + 0,5d_1^2 + 0,5d_2^2 + 4d_1(l - l_1) + 4d_2l_2 + 2(d_1 + d_2)\sqrt{(l_1 - l_2)^2 + (0,5d_1)^2} \right]}{\left[\sqrt{2}\pi \cdot n \cdot (0,25d_1^2 + 0,25d_2^2 + d_1(l - l_1) + d_2l_2 + 0,5(d_1 + d_2)\sqrt{(l_1 - l_2)^2 + (0,5d_1)^2}) \right]}. \quad (8)$$

Предельное значение окружной скорости, при которой возможен захват деталей в БЗУ:

$$v_{\text{пред}} = \sqrt{\frac{g \sin \alpha_6}{d_1}} \left(0,5h_3 + h_k - 0,5 \frac{d_1^2}{h_3 + \sqrt{d_1^2 + h_3^2}} \right), \quad (9)$$

где h_3 – толщина зубьев усовершенствованного БЗУ.

Разработанная математическая модель вероятности захвата в зависимости от типа деталей описывает производительность усовершенствованного БЗУ в зависимости от геометрических параметров загружаемых деталей, их формы, конструктивных и кинематических параметров БЗУ и учитывает влияние коэффициентов трения.

На рис. 7 представлена визуализация вероятности захвата и производительности БЗУ на примере деталей со сферическим торцом (см. рис. 6, а) при различных соотношениях $x_c / l = 0,4; 0,3; 0,2$ и значениях коэффициента трения. Для деталей со сферическим торцом производительность усовершенствованного БЗУ составляет до 430 шт./мин, а вероятность захвата – до 0,87; при этом наибольшее влияние оказывают коэффициент трения и положение координат центра масс.

Разработанные модели позволяют определить численные значения вероятности захвата и производительности БЗУ и оценить, что на них влияет в наибольшей степени, чтобы скорректировать эти значения – повысить или понизить – в соответствии с производственной необходимостью [9]. С помощью разработанной математической модели определим оптимальные значения окружной скорости захватывающих органов усовершенствованного универсального БЗУ, при котором будет обеспечена его максимальная производительность – 0,19...0,21 м/с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ЗАПОЛНЕНИЯ БУНКЕРА ДЕТАЛЯМИ, ПРИ КОТОРОМ БУДЕТ ОБЕСПЕЧЕНА МАКСИМАЛЬНАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО УСТРОЙСТВА

Экспериментальные исследования вероятности захвата и производительности БЗУ проводились на специально разработанном макете [10]. Для оценки влияния на вероятность захвата и производительность БЗУ уровня заполнения бункера деталями была взята деталь (см. рис. 6, а) с параметрами: длина 24,5 мм, диаметр 12,46 мм, длина цилиндрического торца 21 мм,

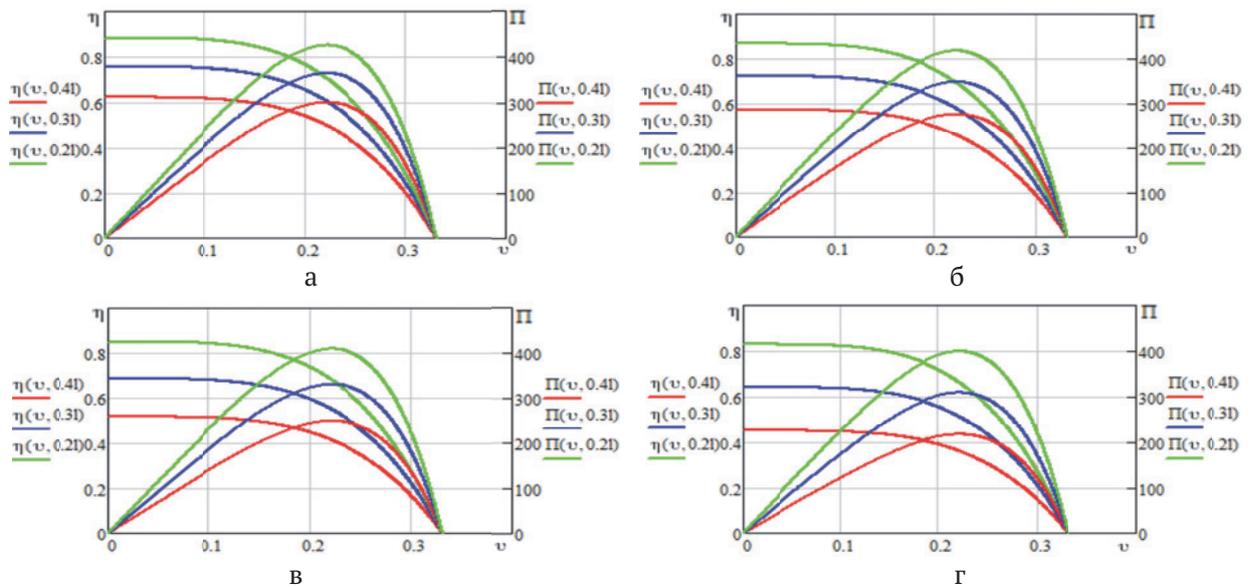


Рис. 7. Графики зависимости вероятности захвата и производительности (шт./мин) БЗУ от окружной скорости (м/с) при коэффициента трения 0,2 (а), 0,3 (б), 0,4 (в), 0,5 (г)

координата центра масс 10,28 мм, масса 8,43 г. Экспериментальные исследования проводились при значениях частоты вращения диска 2,36; 3,89; 5,04; 5,8; 6,95 об./мин, что соответствует окружным скоростям 0,055; 0,09; 0,117; 0,135; 0,161 м/с. Уровень заполнения будем сопоставлять с длинами детали. При этом минимальным уровнем будет считаться уровень 1, когда находящейся на дне диска детали высота слоя равна ее длине. Следовательно, уровень 2 представляет собой заполняемость бункера БЗУ заготовками на высоту, равную двум длинам детали, уровень 3 – на высоту, равную трем длинам детали, а уровень 4 – четырем длинам детали.

На рис. 8 представлены сводные графики зависимостей вероятности захвата деталей от окружной скорости захватывающих органов и уровня заполнения бункера.

Результаты аппроксимации экспериментальных значений вероятности захвата при различных уровнях заполнения бункера деталями позволили получить следующие регрессион-

ные модели вероятности захвата: уровень 1 – $\eta = 0,588 - 55,62 \cdot v^4$; уровень 2 – $\eta = 0,594 - 55,2 \cdot v^4$; уровень 3 – $\eta = 0,564 - 76,55 \cdot v^4$; уровень 4 – $\eta = 0,534 - 70,4 \cdot v^4$. Разработанные регрессионные модели позволяют оценить влияние на производительность БЗУ уровня заполнения бункера деталями в зависимости от окружной скорости захватывающих органов и выбрать тот уровень заполнения, при котором будет обеспечена требуемая производительность. Показано, что наибольшие значения вероятности захвата и производительности достигаются при уровне заполнения 2, равном двум длинам детали. Производительность в этом случае повышается на 3,8 % по сравнению с производительностью при уровне 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате параметрического синтеза усовершенствованного универсального механического дискового БЗУ с зубьями и регулируемым

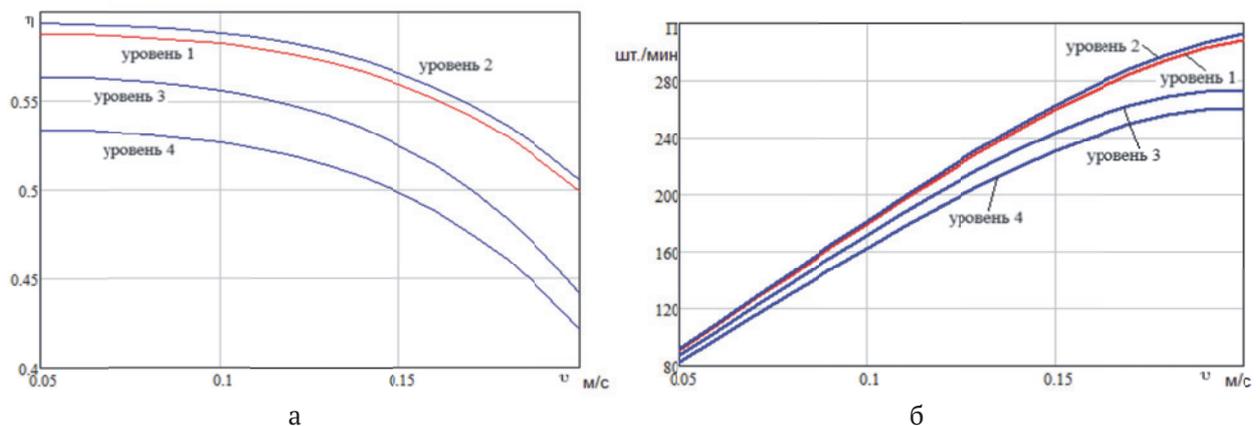


Рис. 8. Сводные графики зависимостей вероятности захвата (а) и производительности (б) от окружной скорости и уровня заполнения бункера деталями

ориентатором для стержневых деталей в форме колпачка были получены оптимальные диапазоны конструктивных параметров органов для захвата деталей (карманов) и регулируемого ориентатора в виде кольцевого сектора, при которых усовершенствованное БЗУ будет надежно обеспечивать свои функции. Построение математических моделей вероятности захвата и производительности БЗУ позволило определить оптимальные диапазоны окружной скорости захватывающих органов, при которых будет обеспечена максимальная производительность усовершенствованного универсального БЗУ. Проведенные экспериментальные исследования на разработанном макете усовершенствованного БЗУ позволили оценить оптимальный для заполнения деталями уровень бункера, при котором вероятность захвата деталей и производительность БЗУ будут максимальны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыдова, Е.В. Теоретические основы проектирования механических дисковых бункерных загрузочных устройств / Е.В. Давыдова, В.В. Преис // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – № 7-1. – С. 10-20.
2. Бляхеров, И.С. Автоматическая загрузка технологических машин: Справочник / И.С. Бляхеров [и др.], под общ. ред. И.А. Клусова. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.
3. Лукин, С.А. Автоматическая загрузка штучных заготовок в патронном производстве / С.А. Лукин, С.А. Васин // Сб. тр. 60-й Научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава ТулГУ с всероссийским участием: сборник докладов в 2 ч. / под ред. д-ра техн. наук М.С. Воротилина. – Ч. 2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2024. – С. 143-148.
4. Голубенко, В.В. Совершенствование зубчатого бункерного загрузочного устройства для методов обработки с неявно выраженной асимметрией торцов / В.В. Голубенко, Е.В. Давыдова, В.В. Преис // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2010. – № 2-1. – С. 27-34.
5. 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.
6. Лукин, С.А. Разработка и математическое моделирование конструктивных ограничений на органы захвата и ориентирования бункерного загрузочного устройства с зубьями и регулируемым ориентатором / С.А. Лукин, Е.В. Пантюхина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 7. – С. 98-103.
7. Лукин, С.А. Методика проектирования универсального механического дисково-го 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.
8. Пантюхина, Е.В. Разработка универсальной конструкции механического дискового бункерного загрузочного устройства с зубьями и регулируемым ориентатором для заготовок тел вращения в форме колпачка / Е.В. Пантюхина, С.А. Лукин, С.А. Васин // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 3. – С. 44-51.
9. Лукин, С.А. Математическая модель вероятности захвата стержневых заготовок в форме колпачка в бункерном загрузочном устройстве с зубьями и регулируемым ориентатором / С.А. Лукин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 8. – С. 3-10.
10. Лукин, С.А. Экспериментальные исследования производительности бункерного загрузочного устройства с зубьями и регулируемым ориентатором / С.А. Лукин, Е.В. Пантюхина, И.В. Пузиков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 8. – С. 16-21.

PARAMETRIC SYNTHESIS OF UNIVERSAL HOPPER FEEDER WITH TEETH AND ADJUSTABLE ORIENTATOR FOR PARTS IN FORM OF CAP

© 2024 S.A. Vasin¹, S.N. Shevchenko², E.V. Pantyukhina¹, S.A. Lukin³

¹ Tula State University, Tula, Russia

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

³ Joint Stock Company «Tula Cartridge Plant», Tula, Russia

The article presents an improved universal mechanical disk hopper feeder with teeth and an adjustable orientator for rod parts in the form of a cap. Limitations on design parameters of gripping and orienting members of improved universal hopper feeding device are developed, and working ranges of width, length and height of pockets, geometric parameters of adjustable orientator, at which device will reliably function, are presented. Developed mathematical models of capture probability and feed rate of improved universal hopper feeding device are presented, which allow taking into account design and kinematic parameters of the device, parameters of parts in the form of a cap of various configurations when describing capacity. Using the developed mathematical models, the ranges of optimal structural and kinematic parameters of the improved universal bunker feeder for various parts are determined. The results of experimental studies of the effect of the level of filling the hopper of the improved device with parts on its feed rate are presented.

Keywords: hopper feeder with teeth, gripping of parts, orientation of parts, feed rate, probability of gripping, parts in the form of cap.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4-109-117

EDN: FBWWDU

REFERENCES

1. *Davydova, E.V.* Teoreticheskie osnovy proektirovaniya mekhanicheskikh diskovykh bunkernykh zagruzochnykh ustrojstv / E.V. Davydova, V.V. Prejs // *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki.* – 2013. – № 7-1. – PP. 10-20.
2. *Blyaherov, I.S.* Avtomaticheskaya zagruzka tekhnologicheskikh mashin: Spravochnik / I.S. Blyaherov [i dr.]; pod obshch. red. I.A. Klusova. – M.: Mashinostroenie, 1990. – 400 p.
3. *Lukin, S.A.* Avtomaticheskaya zagruzka shtuchnykh zagotovok v patronnom proizvodstve / S.A. Lukin, S.A. Vasin // *Sb. tr. 60-j Nauchno-prakticheskoy konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava TulGU s vserossijskim uchastiem: sbornik dokladov v 2 ch. / pod red. d-ra tekhn. nauk M.S. Vorotilina.* – CH. 2. Tula: Izd-vo TulGU, 2024. – PP. 143-148
4. *Golubenko, V.V.* Sovershenstvovanie zubchatogo bunkernogo zagruzochnogo ustrojstva dlya predmetov obrabotki s neyavno vyrazhennoj asimmetriей torcov / V.V. Golubenko, E.V. Davydova, V.V. Prejs // *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki.* 2010. № 2-1. PP. 27-34.
5. *Vasin, S.A.* Osnovnye napravleniya proektirovaniya mekhanicheskikh diskovykh 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.
6. *Lukin, S.A.* Razrabotka i matematicheskoe modelirovanie konstruktivnykh ogranichenij na organy zahvata i orientirovaniya bunkernogo zagruzochnogo ustrojstva s zub'yami i reguliruemym orientatorom / S.A. Lukin, E.V. Pantyuhina // *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki.* – 2024. – № 7.– PP. 98–103.
7. *Lukin, S.A.* Metodika proektirovaniya universal'nogo mekhanicheskogo diskovo-go 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.
8. *Pantyuhina, E.V.* Razrabotka universal'noj konstrukcii mekhanicheskogo diskovogo bunkernogo zagruzochnogo ustrojstva s zub'yami i reguliruemym orientatorom dlya zagotovok tel vrashcheniya v forme kolpachka / E.V. Pantyuhina, S.A. Lukin, S.A. Vasin // *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya.* – 2024. – № 3. – PP. 44–51.
9. *Lukin, S.A.* Matematicheskaya model' veroyatnosti zahvata sterzhnevyykh zagotovok v forme kolpachka v bunkernom zagruzochnom ustrojstve s zub'yami i reguliruemym orientatorom / S.A. Lukin // *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki.* – 2024. – № 8.– PP. 3–10.
10. *Lukin, S.A.* Eksperimental'nye issledovaniya proizvoditel'nosti bunkernogo zagruzochnogo ustrojstva s zub'yami i reguliruemym orientatorom / S.A. Lukin, E.V. Pantyuhina, I.V. Puzikov // *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki.* – 2024. – № 8. – PP. 16–21.

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, Doctor of Agricultural, Director. E-mail: samniish@mail.ru

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 Lukin, General Director. E-mail: tpz@tulammo.ru