

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**РАЗРАБОТКА УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
И НАУЧНЫХ ОСНОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ  
БУНКЕРНЫХ ЗАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ  
ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПАТРОНОВ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ**

Прейс Владимир Викторович,  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Технологические системы пищевых,  
полиграфических и упаковочных производств»,  
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»,  
руководитель работы

Маркова Екатерина Витальевна,  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Технология машиностроения»,  
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

Пантюхина Елена Викторовна,  
кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры «Технологические системы пищевых,  
полиграфических и упаковочных производств»,  
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

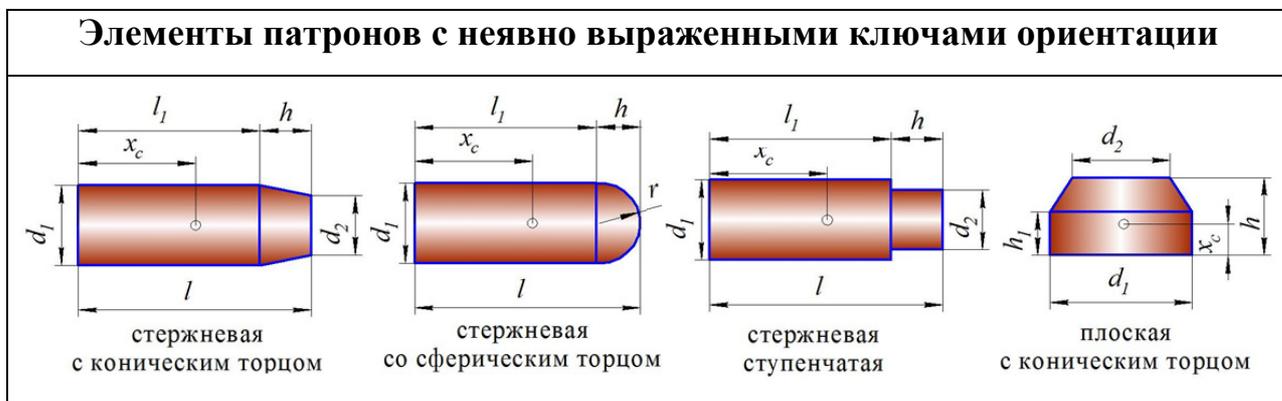
Токарев Вячеслав Юрьевич,  
старший лаборант кафедры «Технологические системы пищевых,  
полиграфических и упаковочных производств»,  
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

Хачатурян Алена Вадимовна,  
специалист отдела международных связей,  
соискатель кафедры «Технологические системы пищевых,  
полиграфических и упаковочных производств»,  
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

Одной из проблем при создании автоматизированных технологических систем в производстве патронов для стрелкового оружия является автоматическая загрузка элементов патронов на соответствующих технологических переходах.

В течение XX века элементы патронов не претерпевали существенных изменений в форме и размерах, число их типоразмеров было ограничено, а производство носило массовый характер. Практически все они имели явно выраженные «ключи ориентации» (смещение центра масс вдоль продольной оси симметрии, продольная асимметрия внешней или внутренней формы).

В последние десятилетия активно развивается разработка новых видов стрелкового оружия специального назначения и соответствующих ему различных специальных патронов не массового выпуска. В результате появились элементы патронов с неявно выраженными ключами ориентации, элементы с продольной асимметрией, характеризующиеся следующими параметрами:  $2 \leq \frac{l}{d_1} \leq 5$ ;  $0,6 \leq \frac{d_2}{d_1} \leq 0,9$ ;  $2\beta \leq 30^\circ$ ;  $r \geq 0,5d_1$ .



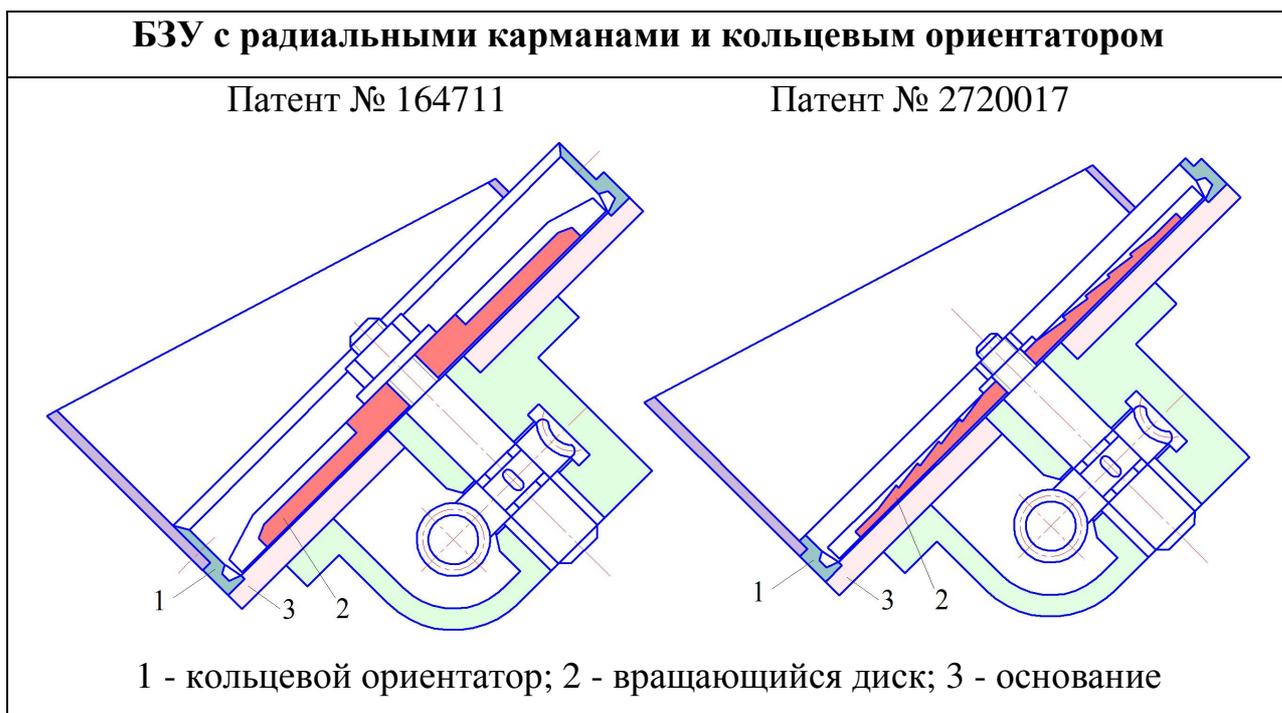
Все это привело к значительному снижению производительности и надежности традиционных конструкций механических бункерных загрузочных устройств (БЗУ) и невозможности их практического применения.

Реализация ряда новых технических идей позволила авторам разработать **усовершенствованные конструкции механических БЗУ** для эффективной загрузки элементов патронов стрелкового оружия с неявно

выраженной асимметрией центра масс или внешней формы, в основе работы которых заложена идея разделения функций захвата и ориентирования и применения группового кольцевого ориентатора, реализующего способы пассивного ориентирования элементов патронов.

Техническое решение, реализованное в БЗУ (Патент № 164711), позволяет значительно повысить вероятность захвата деталей и, тем самым, производительность БЗУ, а также снизить трудоемкость изготовления вращающегося диска с радиальными карманами и упростить его монтаж и установку кольцевого ориентатора при сборке БЗУ.

Для повышения вероятности захвата элементов патронов и производительности в БЗУ глубина радиальных пазов равномерно уменьшается до нулевой величины в виде гребенки (Патент № 2720017).



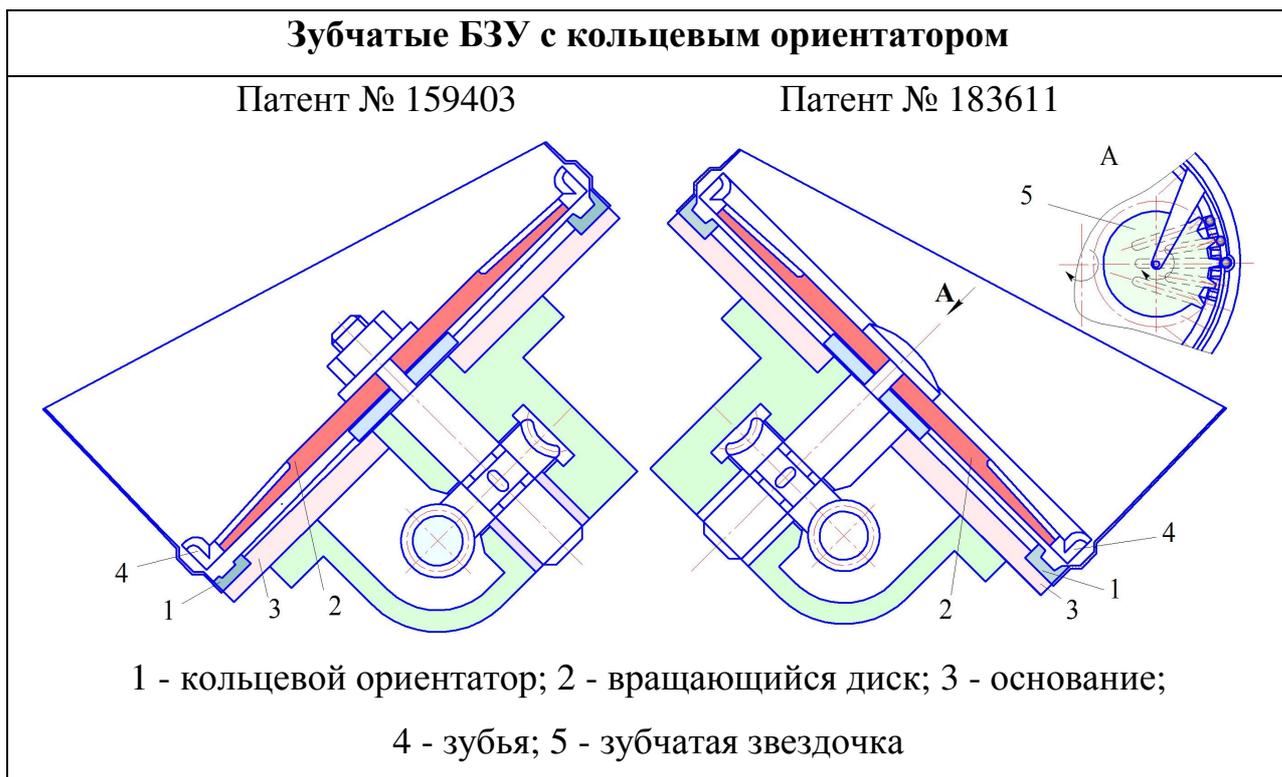
Для надежного ориентирования элементов патронов небольшой длины при их выдаче из карманов БЗУ в приемник в горизонтальном положении разработана усовершенствованная конструкция гравитационного ориентатора (Патент № 183957).

Предложенная техническая идея по установке группового кольцевого ориентатора, обеспечивающего повышение надежности пассивного ориентирования деталей с неявно выраженными геометрическими ключами

ориентации, позволила разработать целый ряд усовершенствованных конструкций известного дискового зубчатого БЗУ.

В БЗУ (Патент № 159403) сечение паза кольцевого ориентатора плавно изменяется по направлению вращения диска от минимальной величины в нижней части бункера до максимальной в верхней части. Это значительно снижает суммарное трение асимметричных торцов элементов патронов о внутреннюю поверхность паза и износ конструкции БЗУ.

Дальнейшее совершенствование зубчатого БЗУ было направлено на повышение надежности выдачи деталей из захватывающих органов в приемник путем установки в зоне выдачи вращающейся зубчатой звездочки, которая, располагаясь в плоскости, проходящей параллельно плоскости диска через центр масс элементов, обеспечивает надежную их выдачу без нарушения ориентации (Патент №183611).

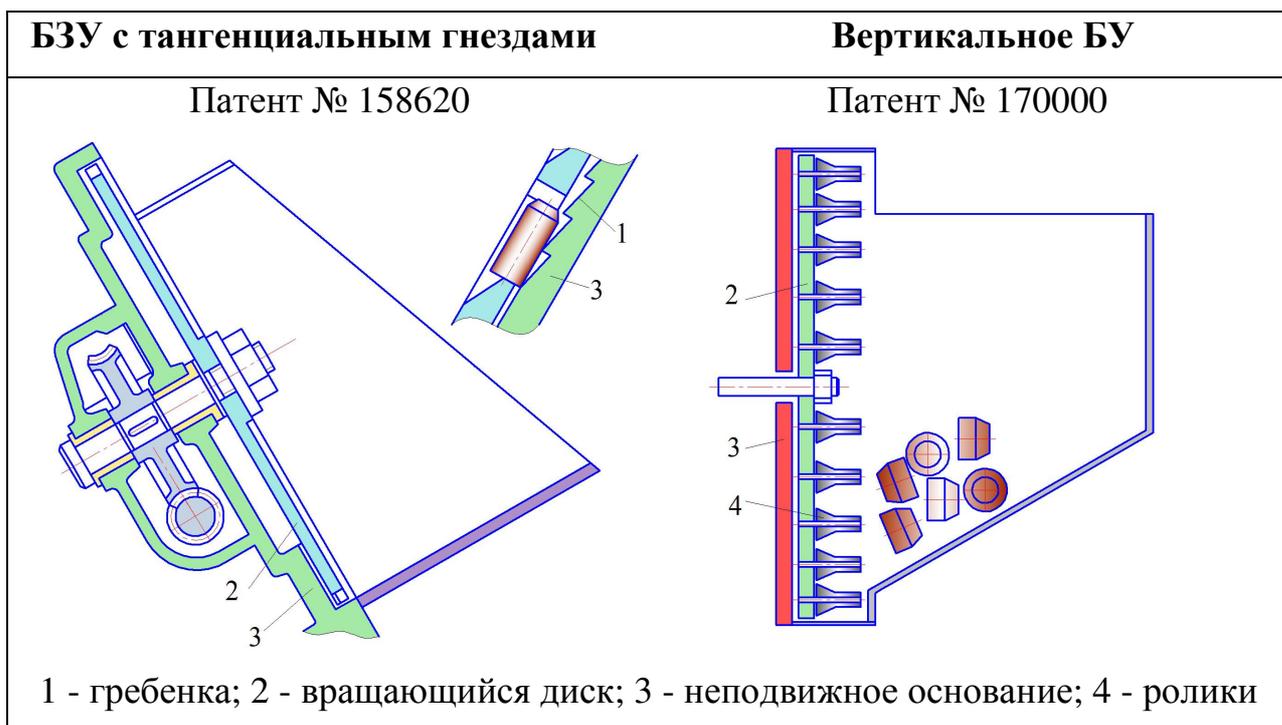


Для исключения возможных поломок зубчатой звездочки при заклинивании в карманах некондиционных элементов патронов в БЗУ (Патент № 192153) предусмотрен кронштейн с возможностью поворота.

Для небольших по длине элементов патронов с коническим торцом типа сердечника без явного смещения центра масс с диапазонами параметров

$2 \leq l/d_1 \leq 3$  и  $0,25 \leq h/l \leq 0,3$  предложена усовершенствованная конструкция известного дискового БЗУ с тангенциальными гнездами (Патент 158620).

Для снижения вероятности заклинивания деталей с высоким коэффициентом трения в профильных карманах известного вертикального БЗУ и его не универсальностью предложено усовершенствованное вертикальное БЗУ с вращающимися роликами (Патент 170000).



Разработанное механическое вертикальное БЗУ эффективно для загрузки плоских деталей с отношениями габаритных размеров  $0,6 \leq h/d_1 \leq 1$ , диаметров торцов  $0,6 \leq d_2/d_1 \leq 0,9$  и высот торцов  $0,5 \leq h_2/h_1 \leq 0,6$ .

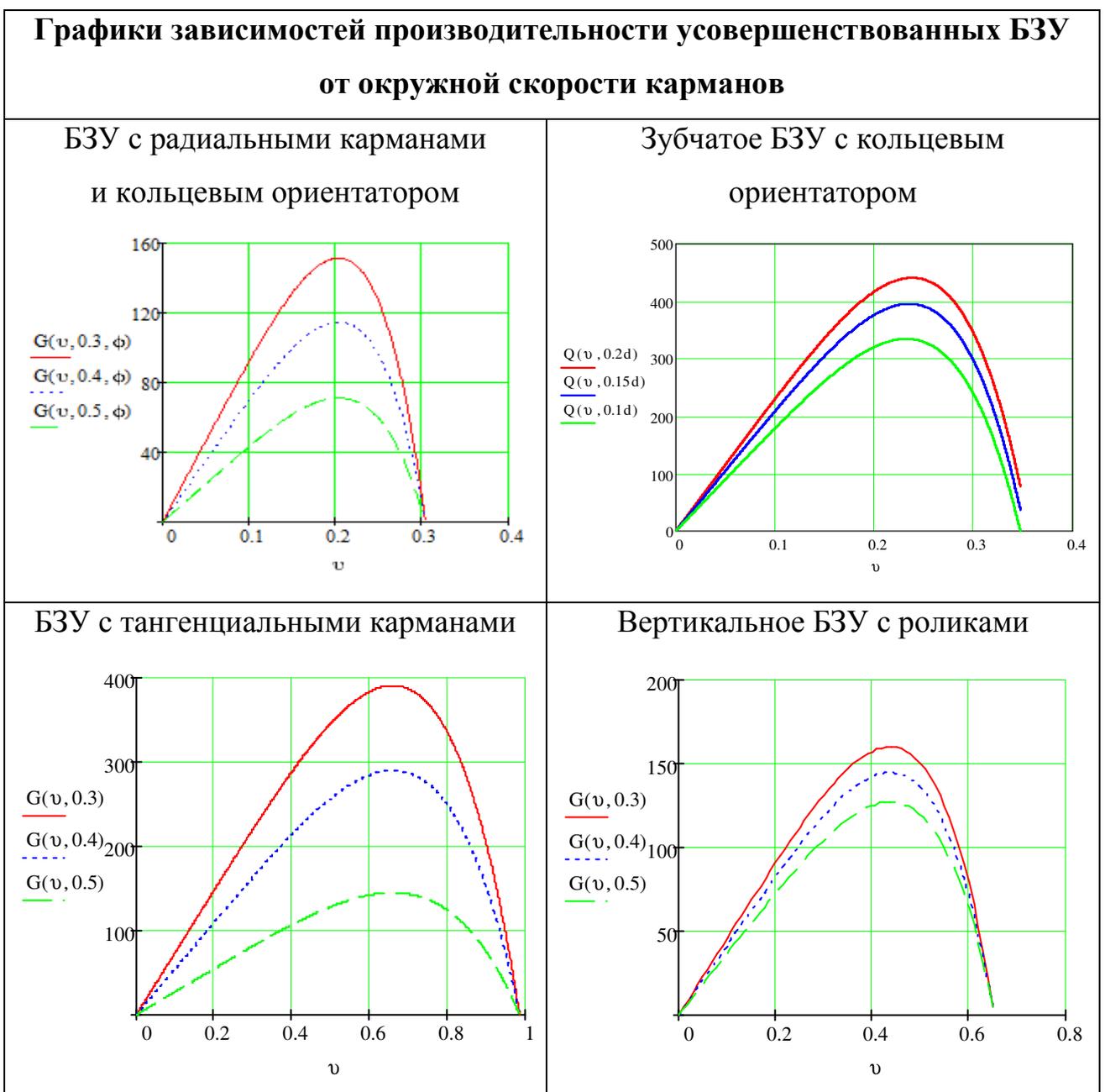
**Математическая модель фактической производительности усовершенствованных конструкций БЗУ описывается выражением, предложенным авторами**

$$P_{\text{БЗУ}} = 60 \frac{v}{t} \eta_{\text{max}} \left[ 1 - \left( \frac{v}{v_{\text{max}}} \right)^4 \right], \quad (2.1)$$

где  $v$ ,  $t$  – скорость и шаг захватывающих органов;  $\eta_{\text{max}}$  – максимально возможное значение вероятности захвата деталей при  $v \rightarrow 0$ , которое определяется произведением вероятностей нахождения детали на

вращающемся диске перед захватом в требуемом для захвата положении и отсутствия помех со стороны других деталей;  $v_{\max}$  – скорость захватывающих органов, при которой невозможен захват детали.

Выразив каждый из указанных величин через параметры БЗУ и параметры, характеризующие элементы патронов, были получены математические модели производительности, учитывающие вероятностный характер процесса захвата. Компьютерное моделирование фактической производительности БЗУ было реализовано в программной среде *MathCAD*.



Графики показывают, что максимальная производительность БЗУ с радиальными гнездами и кольцевым ориентатором может составлять в зависимости от коэффициента трения деталей от 70 до 150 шт./мин; зубчатого БЗУ с кольцевым ориентатором – от 300 до 400 шт./мин; БЗУ с тангенциальными карманами – от 150 до 400 шт./мин; вертикального БЗУ с роликами – от 120 до 160 шт./мин.

В качестве примера рассмотрим результаты экспериментальных исследований фактической производительности зубчатого БЗУ с кольцевым ориентатором для полых деталей со сферическим торцом.

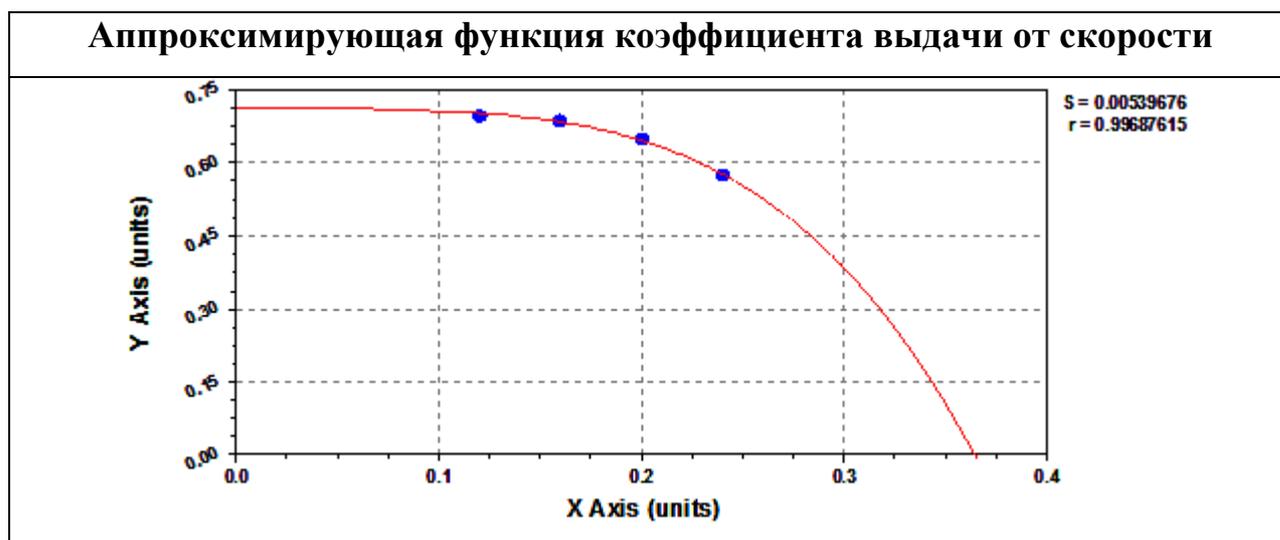
### Экспериментальный макет усовершенствованного зубчатого БЗУ



По результатам проведенных экспериментов с помощью стандартного пакета *CurvExpert 1.3* была найдена аппроксимирующая функция, отражающая зависимость коэффициента выдачи БЗУ от окружной скорости.

Решая аппроксимирующие уравнения, получили значения двух окружных скоростей диска с гнездами. Сравнение теоретических и экспериментальных значений параметров БЗУ показало, что относительные погрешности экспериментальных значений параметров не превышают 10 %, что при размахе случайных колебаний экспериментальных значений

фактической производительности БЗУ относительно средней величины в 15...20 %, что говорит о хорошей сходимости



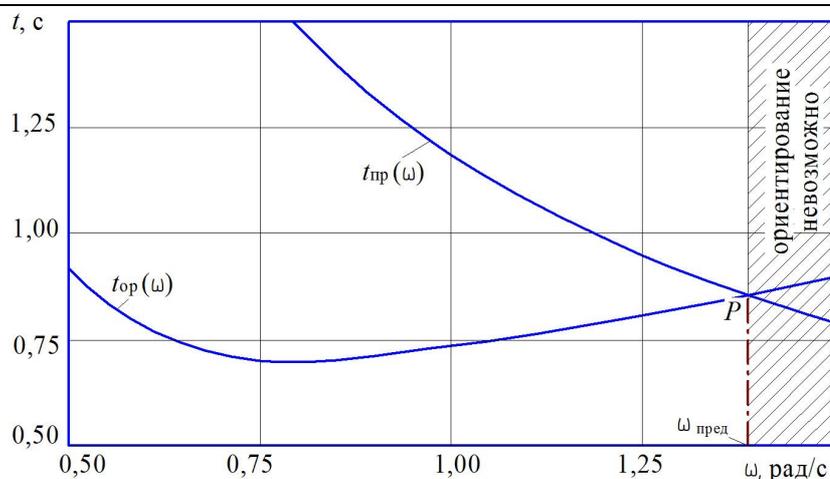
Проведенные исследования подтверждают адекватность и корректность разработанных математических моделей.

**Математическая модель процесса пассивного ориентирования** элементов патронов строилась из условия удовлетворение неравенству  $t_{op} \leq t_{пр}$ , при котором время  $t_{пр}$  прохождения карманом зоны ориентирования в верхней части бункера деталь успела выпасть из него за время ориентирования (выпадения)  $t_{op}$  детали.

Весь процесс движения элементов был разбит на этапы. Движение детали на этапах процесса ориентирования описано дифференциальными уравнениями в форме уравнений Лагранжа II-го рода. Решение системы дифференциальных уравнений было реализовано в программной среде *MathCad15* численным методом интегрирования Рунге-Куты. Это позволило определить время движения детали  $t_i$  на каждом из этапов процесса ориентирования и суммарное время ориентирования детали.

В качестве примера на рисунке показаны результаты компьютерного моделирования процесса пассивного ориентирования деталей в БЗУ с радиальными карманами и кольцевым ориентатором для пустотелой детали с коническим торцом.

**Результаты компьютерного моделирования процесса пассивного ориентирования деталей в усовершенствованном БЗУ с радиальными гнездами для пустотелой детали с коническим торцом**



В результате компьютерного моделирования определено, что суммарное время ориентирования анализируемой детали лежит в диапазоне значений 0,7...0,9 с, при этом пассивное ориентирование деталей возможно до значений угловой скорости вращения диска 1,36 рад/с.

Сравнительный анализ теоретических значений времени движения деталей, полученных в результате компьютерного моделирования по разработанным математическим моделям, и экспериментальных значений, полученных в результате экспериментальной видеосъемки процессов пассивного ориентирования деталей, показало их хорошую сходимость, что подтверждает адекватность и корректность предложенных математических моделей, описывающих процессы пассивного ориентирования элементов патронов в механических дисковых БЗУ.

Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований являются теоретической основой **параметрического синтеза** на заданную производительность усовершенствованных конструкций механических дисковых БЗУ на этапе проектирования. В начале проектирования требуется выбрать из ряда конструкций дисковых БЗУ ту конструкцию, которая окажется наиболее эффективной по целому ряду показателей.

После выбора конструкции БЗУ проводят конструирование и расчет геометрических параметров захватывающих органов (карманов, гнезд и т.п.), определяют шаг захватывающих органов, минимально необходимый диаметр вращающегося диска, после чего переходят к параметрическому синтезу БЗУ на заданную производительность технологической машины с построением математических моделей фактической производительности.

**Повышение ресурса быстроизнашиваемых деталей** машин и механизмов при обеспечении экономичности их изготовления является одной из важных задач на этапе проектирования БЗУ. Объекты исследования - марки конструкционных сталей 30ХРА и 30ХГСН2А (ГОСТ 4543-71), используемые в производстве быстроизнашиваемых деталей БЗУ.

### Приборы для экспериментальных исследований



Микротвердомер ПМТ-3



Электронный микроскоп JSM-6390

В результате проведенных экспериментальных исследований выявлено, что электроэрозионная обработка в режиме производительного съема характеризуется наибольшим упрочняющим эффектом для сталей; поверхность после электроннолучевого упрочнения характеризуется на микроскопическом уровне появлением контрастных дорожек трения, а также фрагментарных рельефов с заметными повреждениями.

Таким образом, предложенные электротехнологии, включающие электроэрозионную и электроннолучевую обработки, могут быть использованы для упрочнения быстроизнашиваемых деталей БЗУ, что

обеспечит повышение надежности эксплуатации БЗУ при загрузке элементов патронов из высоколегированных сталей с высокой твердостью.

По итогам выполнения представленной работы коллективом автором получены следующие **научные и практические результаты**.

1. Разработан ряд усовершенствованных конструкций механических дисковых БЗУ, обеспечивающих возможность эффективной загрузки элементов патронов стрелкового оружия с неявно выраженной асимметрией центра масс или внешней формы с производительностью от 200 до 400 шт./мин и требуемой надежностью.

2. Разработаны научные основы проектирования механических дисковых БЗУ, включающие комплекс математических моделей, описывающих процессы захвата и ориентирования загружаемых элементов патронов, алгоритмы, программы, результаты компьютерного моделирования указанных процессов и экспериментальных исследований производительности БЗУ.

3. Разработана методика параметрического синтеза механических дисковых БЗУ на этапе проектирования на заданную производительность технологической машины.

4. Разработаны электротехнологии упрочнения быстроизнашиваемых деталей БЗУ (вращающихся дисков с захватывающими органами, кольцевого ориентатора, зубчатых гребенок, деталей амортизатора-вибратора) на основе электроэрозионной и электроннолучевой обработки, которые позволяют создавать на деталях поверхностно-активный слой с высокими механическими свойствами.

5. Практические и научные результаты работы переданы для внедрения на предприятия г. Тулы – АО «Тульский патронный завод» и филиал АО КБП – ЦКИБ СОО, производящих патроны для стрелкового оружия, а также используются в учебном процессе в ТулГУ для подготовки бакалавров и магистров по направлениям «Технологические машины и оборудование» и «Машиностроение».